

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi dưới sự hướng dẫn của tập thể giáo viên hướng dẫn và các nhà khoa học. Các tài liệu tham khảo đã được trích dẫn đầy đủ. Kết quả nghiên cứu là trung thực và chưa từng được ai công bố trên bất cứ một công trình nào khác.

Hải Phòng, ngày 12 tháng 12 năm 2023

Tác giả

Trương Công Mỹ

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình làm luận án, tôi đã nhận được nhiều góp ý về chuyên môn cũng như sự ủng hộ giúp đỡ của giáo viên hướng dẫn, của các nhà khoa học, của đồng nghiệp. Tôi xin được gửi tới họ lời cảm ơn sâu sắc.

Tôi xin bày tỏ lòng cảm ơn đến giáo viên hướng dẫn đã trực tiếp hướng dẫn tôi trong suốt thời gian qua.

Tôi cũng xin chân thành cảm ơn các nhà khoa học, Khoa Hàng hải, Khoa Điện – Điện tử, Viện đào tạo sau đại học, trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu thực hiện luận án.

Cuối cùng là lời cảm ơn sự ủng hộ, động viên khích lệ to lớn của gia đình để tôi hoàn thành nhiệm vụ học tập.

Hải phòng, Ngày 12 tháng 12 năm 2023

Tác giả

Trương Công Mỹ

MỤC LỤC

MỤC LỤC	iii
DANH MỤC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ	vi
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	ix
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT.....	x
MỞ ĐẦU.....	1
1. Tính cấp thiết của luận án	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án.....	4
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án.....	4
3.1 Đối tượng nghiên cứu.....	4
3.2 Phạm vi nghiên cứu.....	4
4. Phương pháp nghiên cứu của luận án.....	5
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.....	5
6. Những điểm đóng góp mới.....	6
7. Bố cục của luận án.....	6
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ MÔ PHỎNG HÀNG HẢI VÀ MÔ HÌNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CHUYỂN ĐỘNG TÀU THỦY	8
1.1 Giới thiệu về hệ thống mô phỏng hàng hải	8
1.2 Tính hình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến đề tài luận án.....	12
1.2.1 Tình hình nghiên cứu ngoài nước	12
1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước.....	24
1.2.3 Hướng nghiên cứu của luận án.....	26
1.3 Mô hình toán học mô tả chuyển động tàu thủy dạng không gian trạng thái	27
1.3.1 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy với 6 bậc tự do.....	29
1.3.2 Phân tích vectơ tổng hợp lực và mômen bên ngoài tác động vào con tàu (không bao gồm lực và mômen nổi)	32
1.4 Lực và mômen do tác động của nhiễu loạn môi trường.....	35
1.4.1 Lực và mô men của dòng chảy tạo ra	36

1.4.2 Lực và mô men của gió tạo ra.....	36
1.4.3 Lực và mô men của sóng tạo ra	38
1.5 Kết luận Chương 1.....	40
CHƯƠNG 2. MÔ PHỎNG CHUYỂN ĐỘNG 3D TÀU THUỶ VÀ XÂY DỰNG	
MÔ HÌNH TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN 3 TRỤC TỰ DO CỦA SÀN TREO CABIN	
.....	41
2.1. Phần mềm mô phỏng chuyển động 3D tàu thủy - Unity 3D	41
2.1.1 Triển khai hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy trong Unity3D	42
2.1.2 Các công cụ cơ bản để chuyển đổi từ phương trình động học thành chuyển động 3D	43
2.2 Ứng dụng phần mềm Unity3D để mô phỏng chuyển động tàu thủy.....	45
2.2.1 Tạo lực nổi cho tàu thủy	46
2.2.2 Tạo lực và mô men thủy động học cho tàu thủy.....	48
2.2.3 Tạo lực và mô men liên quan đến thiết bị đẩy và bánh lái cho tàu thủy	48
2.2.4 Tạo lực và mô men do nhiều môi trường tác động tàu thủy	50
2.2.5 Thu thập thông tin 6 bậc tự do của mô hình tàu thủy	51
2.2.6 Một số đối tượng thời tiết và địa hình, địa vật tương tác trong lập trình....	51
2.2.7 Một số mô hình 3D tàu mục tiêu.....	54
2.3 Đề xuất cấu trúc hệ thống mô phỏng hàng hải.....	55
2.3.1 Mô hình mô phỏng chuyển động của tàu thủy	55
2.3.2 Mô phỏng chuyển động của tàu thủy với sàn treo ba bậc tự do (3DOF)	58
2.4 Mô hình động học ngược xác định góc quay động cơ servo.....	60
2.5 Kiểm chứng bằng mô hình động học thuận.....	61
2.6 Kết quả mô phỏng	63
2.7 Xây dựng cấu trúc điều khiển bám tín hiệu mô phỏng của tổ hợp	
Drive/Servo ứng dụng PLC	65
2.7.1 Phân tích các vòng lặp điều khiển	65
2.7.2 Cải thiện chất lượng điều khiển vị trí bằng thuật toán dự báo số trên cơ sở PLC.....	69
2.8. Kết luận Chương 2.....	72

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO ỨNG DỤNG MẠNG NƠON NHÂN TẠO TRONG ĐIỀU KHIỂN SÀN TREO	72
3.1 Trí tuệ nhân tạo - AI và mạng nơon nhân tạo - ANN.....	72
3.2 Các hình trạng của mạng nơon ANN và mạng truyền thẳng nhiều lớp MLP	73
3.2.1 Các hình trạng của mạng nơon	73
3.2.2 Mạng truyền thẳng nhiều lớp MLP	73
3.3 Ứng dụng mạng nơon nhân tạo dạng MLP trong điều khiển sàn treo	75
3.3.1 Bài toán dự báo trước giá trị tham chiếu cho tổ hợp Drive/Servo Mortor.....	76
3.3.2 Xây dựng mạng nơon sử dụng công cụ Matlab/Nntool.....	78
3.3.3 Huấn luyện mạng trong Matlab/NNtool	82
3.3.4 Xây dựng kịch bản mô phỏng với mô hình Newton-Raphson	86
3.4. Sơ đồ kết nối dữ liệu của hệ thống mô phỏng hàng hải.....	89
3.4.1 Giao diện dữ liệu của PLC với vô lăng, tay trang và bộ đo tín hiệu sàn treo	91
3.4.2 Giao diện dữ liệu của PLC với panel điều khiển máy chính, máy lái, neo, chân vịt mũi	92
3.4.3 Giao diện dữ liệu của PLC với Drive/Servo motor.....	94
3.5. Thiết kế, chế tạo bàn điều khiển control console	97
3.6. Cải thiện chất lượng điều khiển sàn treo mô hình vật lý bằng bộ dự báo ứng dụng mạng nơon.....	100
3.7. Kết luận Chương 3.....	104
KẾT LUẬN	104
CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....	106
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	107
PHỤ LỤC	119
Phụ lục 1: Bảng dữ liệu đầu vào để huấn luyện mạng.....	120
Phụ lục 2: Bảng dữ liệu đầu ra để huấn luyện mạng	148

DANH MỤC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ

Hình 1.1 Hệ thống mô phỏng hàng hải.....	8
Hình 1.2 Hệ thống mô phỏng lái tàu thủy	9
Hình 1.3 Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng Kongsberg Marine	10
Hình 1.4 Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng Wärtsilä/Transas	10
Hình 1.5 Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng NAUTIS/VSTEP	11
Hình 1.6 Thư viện các loại mô hình tàu trong MSS-GNC Toolbox	13
Hình 1.7 Thư viện cơ cấu chấp hành trong MSS-GNC Toolbox.....	13
Hình 1.8 Thư viện thiết bị đo, quan sát tín hiệu hàng hải trong MSS-GNC	14
Hình 1.9 Thư viện các loại nhiễu loạn môi trường trong MSS-GNC Toolbox.....	14
Hình 1.10 Hình ảnh luồng và thực địa trên phần mềm Seaman Online.....	15
Hình 1.11 Hình ảnh mô phỏng chuyển động tàu thủy trên phần mềm Co-Simulations	15
Hình 1.12 Hình ảnh mô phỏng hệ thống phương tiện Hàng hải dựa trên nền tảng của hãng Kongsberg	16
Hình 1.13 Thành phần chuyển động, tham số động học của chuyển động tàu thủy	28
Hình 1.14. Định nghĩa tốc độ gió Vw và hướng γr (nguồn [32])	36
Hình 2.1. Giao diện của Unity3D	42
Hình 2.2. Mô hình đối tượng tàu chủ a) và cửa sổ cài đặt lực nổi cho tàu thủy b)	46
Hình 2.3 Xác định hình tam giác chìm trong nước a) và các trường hợp tam giác chìm với thuật toán tối ưu hóa xử lý sai số b)	47
Hình 2.4. Cửa sổ cài đặt các lực đẩy, lực cản và mô men vào đối tượng con tàu.....	49
Hình 2.5. Cửa sổ cài đặt mô phỏng tương tác giữa đối tượng nghiên cứu.....	50
Hình 2.6. Cửa sổ cài đặt bầu trời a) và cài đặt thuộc tính bầu trời b)	52
Hình 2.7. Đối tượng bầu trời Silver lining	52
Hình 2.8. Đối tượng sóng biển Triton ocean.....	52
Hình 2.9. Tạo hiệu ứng hình ảnh ban đêm	53
Hình 2.10. Tạo hiệu ứng hình ảnh ban ngày, trạng thái mặt biển và mưa	53
Hình 2.11. Cửa sổ lấy địa hình thực tế từ World Composer	54
Hình 2.12. Mô hình 3D tàu Bulk Carrier a) và mô hình 3D tàu Cargo b).....	54
Hình 2.13. Cấu trúc khung cơ khí của hệ thống mô phỏng chuyển động của tàu thủy.	55
Hình 2.14. Cấu trúc mạng của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy	56

Hình 2.15 Mô hình mô phỏng chuyển động 3DOF buồng lái tàu thủy.....	57
Hình 2.16 Mô hình mô phỏng chuyển động 3 bậc tự do sử dụng động cơ servo. a) Mặt sàn để gắn cabine buồng lái, b) Khung tam giác truyền động.....	58
Hình 2.17 a) Sơ đồ hình học của mô hình 3DOF, b) Tay quay và tay đòn.....	59
Hình 2.18 Thuật toán Newton-Raphson xác định mô hình động học thuận	62
Hình 2.19 Sơ đồ mô phỏng hệ thống trên Matlab/Simulink	62
Hình 2.20 Kết quả mô phỏng khi chỉ có lắc ngang (Φ -roll);	63
Hình 2.21 Kết quả mô phỏng khi chỉ có lắc dọc (θ -pitch);	63
Hình 2.22 Kết quả mô phỏng khi chỉ có trượt dọc trục thẳng đứng (z-heave)	64
Hình 2.23 Kết quả mô phỏng khi có chuyển động hỗn hợp.....	64
Hình 2.24 Cấu trúc vòng lặp trong điều khiển nổi tầng động cơ servo.....	65
Hình 2.25. Cấu trúc điều khiển sử dụng PLC và Servo Motor của hãng Delta	66
Hình 2.26. Cấu trúc vòng lặp vị trí (a) và tốc độ (b) trong chế độ có Feedforward đầu vào	67
Hình 2.27 Sơ đồ mạch bù nhiễu tải Feedforward.....	688
Hình 2.28. Đặc tính đáp ứng bám theo các góc quay con tàu của sàn cabine.....	69
Hình 2.29 Đáp ứng bám theo các góc quay con tàu của sàn cabine khi sử dụng dự báo với $T_s = 500ms$	70
Hình 3.1 Mạng nơron truyền thẳng nhiều lớp MLP.....	74
Hình 3.2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển sàn treo có tích hợp module ANN/MLP	80
Hình 3.3. Khối OPC Configuration để cấu hình kết nối a) Khối OPC Write để ghi dữ liệu thời gian thực đến PLC b) Khối OPC Read để đọc dữ liệu đến từ PLC	80
Hình 3.4. Khối OPC Quality Parts để giám sát chất lượng kết nối.....	81
Hình 3.5. Dữ liệu mẫu để luyện mạng nơron a) Chuyển động roll; b) Chuyển động pitch; c) Chuyển động heave	83
Hình 3.6. Sơ đồ cấu trúc mạng nơ ron.....	84
Hình 3.7. Cửa sổ trạng thái quá trình luyện mạng.....	85
Hình 3.8. Đặc tính sai số MSE của quá trình luyện mạng	855
Hình 3.9. Đường hồi quy luyện mạng	865
Hình 3.10 Đường hồi quy khi thử nghiệm với đầu ra alpha 1	875
Hình 3.11. Đường hồi quy khi thử nghiệm với đầu ra alpha 2	876

Hình 3.12. Đường hồi quy khi thử nghiệm với đầu ra alpha 3	886
Hình 3.13 Khối mạng nowrron đã hình thành trong môi trường Simulink.....	86
Hình 3.14. Sơ đồ khối mô phỏng có sử dụng mạng nowrron nhân tạo.....	87
Hình 3.15. Đặc tính mô phỏng đáp ứng tín hiệu ra ϕ (lắc ngang), θ (lắc dọc) và chuyển động trượt dọc trục thẳng đứng là z khi có mạng Noron	87
Hình 3.16. Đặc tính mô phỏng tín hiệu đầu vào điều khiển động cơ servo $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ khi có mạng Noron	88
Hình 3.17. Cấu trúc mạng của hệ thống mô phỏng hàng hải	89
Hình 3.18. Sơ đồ khối cấp nguồn cho PLC điều khiển	90
Hình 3.19. Cảm biến tín hiệu sàn treo 3 trục loại QK – AS08 a) và encoder gắn vào tay trang điều khiển b)	91
Hình 3.20. Bản vẽ kết nối tín hiệu vào/ra giữa PLC và drive của động cơ servo	96
Hình 3.21. Thuật toán điều khiển vị trí servo bằng lệnh DRVA.....	97
Hình 3.22. Mặt trước Panel điều khiển	98
Hình 3.23. Mặt trái của Panel điều khiển.....	98
Hình 3.24. Mặt trên của Panel điều khiển.....	98
Hình 3.25. Hình ảnh bàn control console buông lái sau khi được chế tạo	99
Hình 3.26. Một số hình ảnh của hệ thống mô phỏng sau chế tạo.....	100
Hình 3.27. Sơ đồ cấu trúc ứng mạng noron nhân tạo MLP trong điều khiển mô hình vật lý sàn treo 3 DOF.....	101
Hình 3.28. Đáp ứng tín hiệu khi tín hiệu nghiêng, lắc và trượt dừng của sàn treo khi ứng dụng mạng noron nhân tạo MLP so sánh với tín hiệu từ mô phỏng 3D.....	102

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Thành phần chuyển động và tham số động học của tàu thủy [32, 36].....	28
Bảng 2.1 Các thành phần lực và mô men.....	48
Bảng 2.2 Các thành phần lực và mô men.....	49
Bảng 2.3 Thành phần lực và mô men.....	50
Bảng 2.4 Các thành phần tọa độ và góc	51
Bảng 3.1. Mô tả các thành phần chuyển động của sàn treo	77
Bảng 3.2. Các thông số chính để huấn luyện mạng.....	84
Bảng 3.3 Các đầu vào/ra của panel điều khiển máy chính.....	92
Bảng 3.4 Các đầu vào/ra của panel điều khiển máy lái.....	93
Bảng 3.5. Các đầu vào/ra của panel điều khiển.....	93
Bảng 3.6. Các đầu vào của Driver Servo/PLC	94
Bảng 3.7 Các đầu vào của Drive Servo/PLC	94

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Giải thích
AI	Artificial Intelligence
ANN	Artificial Neural Networks
BP	Back Propagation
BPNN	Back propogation Nerual Network
BPTT	Back Propagation - Through- Time
BTF	Backproration network training funtion
CAN	Controller Area Network
DOF	Degree of freedom
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
EE	End Effector
FFNN	Feed-forward neural network
GA	Genetic Algorithms
GNC	Guide Navigation Control
GPS	Global Positioning System
HMI	Human Machine interface
LQR	Linear quadratic Regulator
MAE	Mean absolute error
MLP	Multi- layer peprceton
MPC	Marginal propensity to consume
MSS	Mariner Simulation System
NNs	Neural Networks
OPC	Open Platform Communications
PF	Performance function
PID	Proportional Integral Derivative
PLC	Programmable logic controller
RNN	Recurrent neural network
TCP	Transmission Control Protocol
TFi	Transfer funtion of with layer

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Ngày nay, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghệ công tin trong cuộc cách mạng công nghệ 4.0, các lĩnh vực công nghệ khác đang có trào lưu tận dụng tối đa lợi thế của phần mềm tin học vào lĩnh vực của mình. Với các lĩnh vực gặp khó khăn trong công tác triển khai kiểm chứng, thử nghiệm kết quả hoặc vận hành như hàng không vũ trụ, năng lượng hạt nhân, y tế thì việc ứng dụng công nghệ thông tin đem lại hiệu quả rất to lớn. Tuy nhiên, các lĩnh vực khác như giao thông vận tải, năng lượng, hóa dầu, thiết bị nâng hạ cũng không nằm ngoài xu hướng đó, đặc biệt là trong khía cạnh sản xuất thiết bị và huấn luyện đào tạo. Về mặt pháp lý, ngành giao thông vận tải đã và đang triển khai các thông tư yêu cầu các cơ sở đào tạo áp dụng các hệ thống mô phỏng vào đào tạo, huấn luyện. Cụ thể là trong giao thông đường bộ có thông tư số 04/2022/TT-BGTVT ngày 22/4/2022 về “Sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 12/2017/TT-BGTVT ngày 15 tháng 4 năm 2017 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải quy định về đào tạo sát hạch, cấp giấy phép lái xe cơ giới đường bộ”, trong đó điều 47 khoản 2 có yêu cầu “Cơ sở đào tạo trang bị và sử dụng ca bin học lái xe ô tô để đào tạo lái xe ô tô trước ngày 31/12/2022”. Trong ngành hàng hải có thông tư số 15/2019/TT-BGTVT ngày 26/4/2019 về “Ban hành quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về cơ sở vật chất, trang thiết bị đào tạo của cơ sở đào tạo, huấn luyện thuyền viên hàng hải”, trong đó tại phụ lục 5 khoản 3 về yêu cầu phòng mô phỏng buồng lái, khoản 4 về yêu cầu phòng mô phỏng buồng máy - điện, điện tử, khoản 5 về yêu cầu phòng phần mềm ứng dụng xếp dỡ hàng hóa. Bên cạnh đó, trên phương diện quốc tế tổ chức hàng hải quốc tế - IMO có các hướng dẫn đối với huấn luyện đào tạo sỹ quan hàng hải trong IMO Model Course 1.22 về “Ship simulator and bridge teamwork” trong đó yêu cầu sỹ quan hàng hải phải có ít nhất 20/40 giờ huấn luyện trong phòng mô phỏng buồng lái. Đối với sỹ quan máy khai thác, trong IMO Model Course 2.07 về “Engine - Room Simulator” trong đó yêu cầu sỹ quan máy khai thác phải có ít nhất 80 giờ huấn luyện trong phòng mô phỏng buồng máy.

Mặt khác, trong ngành hàng hải nói chung và công nghiệp đóng tàu nói riêng đã và đang phát triển rất nhiều các chủng loại tàu thủy ngày càng hiện đại và đa dạng về thiết kế. Do đó, nhiệm vụ của các đội ngũ thuyền viên cần phải nắm bắt chính xác,

nhanh chóng cách thức vận hành. Tuy nhiên, việc đào tạo trên các thiết bị thật rất tốn kém nhiên liệu, thiết bị, nguồn lực và dễ tạo ra các sự cố nguy hiểm gây hỏng hóc cho thiết bị thật. Để khắc phục tình trạng này, việc đào tạo hiện nay có xu hướng sử dụng công nghệ thực tế ảo 3D kết hợp với mô hình chuyển động nhiều bậc tự do để mô phỏng các trang thiết bị, các tình huống có thể xảy ra trong quá trình huấn luyện.

Khi người vận hành thực hiện trên chương trình mô phỏng hàng hải sẽ rất an toàn, hạn chế được rủi ro so với dùng thiết bị thực tế mà vẫn được trải nghiệm được các tình huống giống như trên biển.

Việc chủ động nghiên cứu, ứng dụng các thuật toán điều khiển hiện đại và phát triển các mô hình mô phỏng sẽ khắc phục được rất nhiều nhược điểm như:

- Phụ thuộc vào các công trình nghiên cứu ở nước ngoài nên khả năng làm chủ công nghệ không cao.
- Quá trình chuyển giao công nghệ và kết quả nghiên cứu rất tốn nhiều thời gian, kinh phí đào tạo lớn.
- Khó khăn trong việc bảo hành, bảo trì, nâng cấp, phát triển hệ thống do khoảng cách địa lý và bất đồng ngôn ngữ giữa nhà sản xuất và đơn vị sử dụng.
- Dữ liệu hải đồ địa hình, địa vật không được cập nhật và xây dựng đúng như địa hình địa vật thực tế trong nước.
- Không đảm bảo các yếu tố bí mật thông tin an ninh quốc gia của dữ liệu địa hình, địa vật nếu cung cấp các tham số dữ liệu địa hình đặc tả cho phía đối tác nước ngoài để xây dựng dữ liệu số (2D và 3D) phục vụ mô phỏng địa lý hệ thống.
- Các hệ thống mô phỏng của các công trình nghiên cứu nước ngoài thường có tính chất độc lập và giới hạn phạm vi vận hành trong một phòng huấn luyện buồng lái, buồng máy hoặc bảng điện mà không hỗ trợ nhiều việc liên kết thông tin giữa các buồng để tạo ra một cấu trúc hợp luyện hoàn chỉnh như một con tàu.
- Cuối cùng là tổng chi phí cho một mô hình mô phỏng thường rất cao.

Hiện nay, hệ thống mô phỏng có tích hợp mô hình chuyển động (motion platform) nói chung và hệ thống mô phỏng chuyển động cho các phương tiện giao thông vận tải nói riêng đang được ứng dụng rất rộng rãi trong đào tạo, giải trí. Trên thế giới đã có rất nhiều các công trình nghiên cứu về hệ thống mô phỏng chuyển động 2DOF, 3DOF, 6DOF. Các công trình nghiên cứu với cấu trúc hệ thống sử dụng động cơ piston,

động cơ servo hoặc xi lanh/piston thủy lực, phần mềm thiết kế là chuyên dụng công nghiệp. Bên cạnh đó, có các công trình tập trung vào nâng cao hiệu suất, giảm độ ồn, và tăng cường truyền thông mạng trong hệ thống. Các công trình nghiên cứu trong nước tập trung vào vấn đề ứng dụng một sản phẩm phần cứng và phần mềm công nghiệp chuyên dụng của nước ngoài vào một dự án mô phỏng cụ thể cho trò chơi hoặc công nghiệp quốc phòng. Khi nghiên cứu tích hợp thêm mô hình chuyển động 3DOF cho hệ mô phỏng có rất nhiều công trình nghiên cứu xoay quanh kiểu cấu trúc tương tự này như các công trình [9,11,12,13] nghiên cứu về động học ngược, động học thuận dạng ba piston, công trình [11] nghiên cứu về điều khiển động lực học. Tuy nhiên, chỉ có các công trình [12,13] nghiên cứu cấu trúc sử dụng 3 động cơ servo thông qua hệ thống trục khủy/tay đòn để truyền động cho sàn treo cabine. Tuy nhiên, về mặt kỹ thuật các công trình nghiên cứu vẫn còn tồn tại nhưng hạn chế nhất định như chất lượng điều khiển, chất lượng và độ trung thực của hình ảnh, khả năng đồng bộ dữ liệu điều khiển còn tồn tại thời gian trễ τ_{delay} ... Các công trình này đều cho phép tính toán gần đúng góc quay động cơ servo α_i do đó khi dao động của mặt sàn mô phỏng khoảng $\pm 15^\circ$, gần giống thực tế chuyển động của một con tàu thì sai số đến 5% và thời gian trễ giữa chuyển động nghiêng/lắc của mô hình và hình ảnh thực tế 3D là tương đối lớn lên đến 1200ms. Điều này làm giảm tính đồng bộ giữa thị giác và cảm nhận chuyển động thực tế của người huấn luyện, giảm tính chính xác trong mô phỏng chuyển động tàu thủy.

Vì vậy, để góp phần vào nhiệm vụ khắc phục các nhược điểm trên nhằm cải thiện chất lượng mô phỏng chuyển động tàu thủy với sàn treo nhiều bậc tự do, đồng thời hướng tới chủ động phát triển công nghệ, giảm bớt giá thành và ứng dụng được các sản phẩm công nghiệp phổ biến, các linh kiện cơ/điện tử sẵn có trên thị trường thì vấn đề trên là rất cấp thiết và cần được tiếp tục nghiên cứu.

Xuất phát từ những lý do trên đây, NCS đã lựa chọn đề tài: **“Nghiên cứu phát triển hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy với sàn treo ba bậc tự do ứng dụng thuật toán điều khiển hiện đại”** làm đề tài nghiên cứu cho luận án tiến sĩ của mình, để từ đó đề xuất các thuật toán hiện đại nhằm nâng cao chất lượng mô phỏng chuyển động tàu thủy có tích hợp sàn treo ba bậc tự do, hướng tới đáp ứng nhu cầu tự động hóa và hiện đại hóa của đất nước cũng như ngành công nghiệp mô phỏng đã và đang rất phát triển.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Mục tiêu tổng quát của luận án là nghiên cứu, phát triển thuật toán khiển hiện đại nhằm cải thiện chất lượng hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy có tích hợp sàn treo ba bậc tự do phục vụ cho đào tạo, huấn luyện sinh viên, học viên nhóm ngành hàng hải nhằm mục đích hạn chế thấp nhất các tai nạn trên biển và giảm chi phí so với việc huấn luyện trên tàu thật.

Để giải quyết được mục tiêu tổng quát, NCS xác định các mục tiêu cụ thể của luận án như sau:

Thứ nhất, xây dựng hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy nhằm tạo ra một bản sao giống hệt buồng lái của một con tàu hiện đại được đề xuất đáp ứng được các yêu cầu huấn luyện cho ngành hàng hải. Kích thước của buồng lái được thiết kế là 2.4x2.4m và chiều cao là 1,75m. Khối lượng đủ tải của buồng lái khoảng 1300kg. Buồng lái mô phỏng có tích hợp bàn điều khiển, các thiết bị như Radar/ARPA, ECDIS, Conning... và nội thất khác cũng được trang bị. Buồng lái được gắn trên một sàn chuyển động ba bậc tự do. Sàn chuyển động được thiết kế trên nguyên tắc của Stewart platform.

Thứ hai, trên cơ sở tiếp cận Stewart platform với ba bậc tự do (lắc ngang, lắc dọc và trượt đư) và sau khi mô phỏng động học tàu thủy dạng hình ảnh 3D. NCS tiến hành xây dựng thuật toán điều khiển trên bộ điều khiển logic khả trình PLC để điều khiển tổ hợp DRIVE/SERVO nhằm tạo ra chuyển động thật 3 trục tự do mô phỏng lại chuyển động từ mô hình 3D ảo trên máy tính.

Thứ ba, tích hợp hoàn chỉnh một hệ thống mô phỏng 3D động học tàu thủy với mô hình chuyển động sàn treo được điều khiển trên cơ sở ứng dụng trí tuệ nhân tạo AI dạng mạng nơ ron nhân tạo để tăng độ chính xác và giảm thời gian trễ đồng bộ giữa hình ảnh và chuyển động vật lý.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

3.1 Đối tượng nghiên cứu

Trên cơ sở đánh giá sự cần thiết cùng với mục tiêu của đề tài luận án, đối tượng nghiên cứu của luận án là hệ thống mô phỏng 3D động học tàu thủy trong cấu trúc cabin buồng lái có tích hợp mô hình chuyển động 3 bậc tự do (3DOF) của sàn treo.

3.2 Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu về mô hình động học tàu thủy bao gồm đầy đủ 6 bậc tự do với bộ tham số của lớp tàu với chiều dài 55m, chiều rộng 9.2m, mớn nước 2.6m và tải trọng là

429 tấn; mô hình toán của 3 yếu tố môi trường như: gió trong dải 0-30knots, sóng với 12 cấp thang beaufort và hải lưu trong dải 0-5knots; mô hình toán của hệ động lực 01 chân vịt và 01 bánh lái. Trên cơ sở các mô hình toán đó thiết kế tàu mô hình chuyển động trong không gian 3D của Unity Engine.

Nghiên cứu xây dựng mô hình sàn treo cabin buồng lái dạng Stewart platform với 03 bậc tự do và ứng dụng của PLC, mạng truyền thông công nghiệp, động cơ servo để điều khiển 03 chuyển động của sàn bám theo 03 tín hiệu lắc ngang, lắc dọc và trượt đứng của tàu mô hình 3D.

Nghiên cứu thuật toán điều khiển hiện đại là mạng nơon nhân tạo MLP để học và dự báo trước quỹ đạo nhằm điều khiển 03 chuyển động của sàn treo bám theo chuyển động của tàu mô hình 3D với độ chính xác và thời gian trễ được cải thiện góp phần nâng cao chất lượng của hệ thống mô phỏng.

4. Phương pháp nghiên cứu của luận án

Phương pháp nghiên cứu của đề tài luận án bao gồm: phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết, phương pháp mô phỏng, phương pháp thống kê thu thập dữ liệu và đánh giá, phương pháp thực nghiệm. Phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết phục vụ cho mục tiêu xây dựng mô hình động học của con tàu. Đối với phương pháp mô phỏng, đề tài sử dụng mô phỏng 3D các tình huống trên biển cũng như mô phỏng các trang thiết bị như hải đồ điện tử/ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), RADAR, CONNING... Sử dụng mô phỏng trên Matlab/Simulink cho các thuật toán tìm tín hiệu điều khiển của mô hình động học ngược và thuật giải lặp Newton-Raphson của mô hình động học thuận. Phương pháp thống kê, thu thập dữ liệu và đánh giá để xây dựng, chọn lọc bộ dữ liệu học tốt nhất cho mạng nơon nhân tạo MLP. Ngoài ra, để kiểm chứng các kết quả mô phỏng NCS sử dụng phương pháp thực nghiệm trên cơ sở thực hiện lắp đặt mô hình, lập trình điều khiển các động cơ servo trên PLC, xây dựng giao tiếp mạng truyền thông Modbus TCP, thuật toán quy đổi các góc roll, pitch, heave ra các góc quay của động cơ servo, thuật toán điều khiển xung phát xung điều khiển động cơ servo.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Về mặt phương pháp luận, luận án hướng tới

Luận án đưa ra phương pháp luận, đề xuất áp dụng một thuật toán điều khiển mới để dự báo và điều khiển chuyển động của mô hình sàn treo ba bậc tự do bám theo tín

hiệu đặt từ mô hình mô phỏng 3D. Cụ thể thuật toán này cho phép huấn luyện trước với bộ dữ liệu mẫu và dự báo tín hiệu chuyển động nghiêng, lắc và trượt đứng của con tàu trên cơ sở sử dụng mạng nơ ron nhân tạo MLP. Luận án sẽ góp phần bổ sung và làm phong phú thêm các phương pháp điều khiển nhằm làm giảm độ trễ của mô hình sàn treo ba bậc tự do so với mô hình chuyển động của hình ảnh trong không gian 3D.

Về mặt thực tiễn, với mô hình và thuật toán dự báo đề xuất, luận án hướng tới

Kết quả của luận án sẽ hiện thực hóa vấn đề khiêu khích mô hình sàn treo cabin buồng lái 3 bậc tự do chuyển động đồng bộ với chuyển động của con tàu trong mô hình mô phỏng 3D bằng mô hình cơ khí có cấu trúc Stewart platform. Cụ thể là mô hình dự báo trên cơ sở mạng nơ ron nhân tạo được cài đặt trong phần mềm Matlab/Simulink trên máy tính, có chức năng dự báo trước chuyển động của con tàu trong mô hình mô phỏng 3D và phát lệnh tới PLC để điều khiển thời gian thực các cơ cấu chấp hành Drive/Servo Motor truyền động cho 03 tay đòn.

6. Những điểm đóng góp mới

Đóng góp mới của luận án là phân tách cấu trúc điều khiển sàn treo 3 bậc tự do của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy thành hai khối là: khối dự báo góc quay và khối điều khiển vị trí của cơ cấu chấp hành. Từ đó tổng hợp và hoàn thiện cơ sở lý thuyết của thuật toán dự báo trước góc quay của của động cơ servo bằng mạng nơ ron nhân tạo, chứng minh tính đúng đắn và khả thi của phương pháp đề xuất bằng thực nghiệm với mô hình vật lý trên cơ sở các tiêu chí về độ chính xác bám và giảm thời gian trễ.

7. Bố cục của luận án

Nhằm đạt được mục tiêu nghiên cứu của luận án tiến sĩ, ngoài phần mở đầu, kết luận, danh mục tài liệu tham khảo và phụ lục, NCS sẽ tập trung vào giải quyết nội dung của luận án với kết cấu được phân bố trong 3 chương cụ thể như sau:

Chương 1. Tổng quan về mô phỏng hàng hải và mô hình toán động lực học của chuyển động tàu thủy

Nội dung chương này đã tổng quan về các công trình nghiên cứu về mô phỏng hàng hải, đánh giá và phân tích các kết quả của những công trình nghiên cứu trong và ngoài nước. Sau đó xác định khoảng trống nghiên cứu và định hướng xu thế nghiên cứu chính trong mô phỏng chuyển động tàu thủy. Chương 1 cũng đề xuất mô hình toán học mô tả chuyển động của con tàu dưới dạng không gian trạng thái 6 bậc tự do, mô hình

toán của các yếu tố môi trường như sóng, gió và dòng chảy phục vụ cho mô phỏng chính xác chuyển động tàu thủy trong không gian 3D.

Chương 2. Mô phỏng chuyển động 3D tàu thủy và xây dựng mô hình tín hiệu điều khiển 3 trục tự do của sàn treo cabin

Trong chương này tiến hành nghiên cứu và ứng dụng phần mềm mô phỏng Unity3D để mô phỏng chuyển động tàu thủy trên cơ sở phương trình động học có được ở chương 1. Hai vế của phương trình $M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau - g(\eta)$ đã được mô phỏng thông qua module Rigidbody và đưa vào mô hình tàu, trong đó các thành phần lực nổi, lực và mô men thủy động lực học, lực và mô men tạo ra do tác động của các lực đẩy của chân vịt chính, chân vịt mũi, bánh lái, lực do tác động của môi trường như sóng, gió, dòng chảy... đều lần lượt được tính toán bằng các khối hàm. Chương này cũng nghiên cứu và xây dựng bộ điều khiển bám tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D bằng mô hình động học ngược và sử dụng mô hình động học thuận mô phỏng sử dụng thuật toán Newton-Raphson để kiểm tra đáp ứng bám tín hiệu.

Chương 3. Thiết kế bộ điều khiển dự báo ứng dụng mạng nơron nhân tạo trong điều khiển sàn treo

Nội dung chương 3 trình bày mạng nơron nhân tạo ANN, sau đó thiết kế bộ dự báo trên cơ sở mạng nơron nhân tạo dạng nhiều lớp truyền thẳng MLP. Tiến hành kiểm chứng bằng mô phỏng dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson. Xây dựng mô hình vật lý để thực nghiệm kiểm chứng kết quả nhằm đánh giá chất lượng điều khiển bám so với mô phỏng. Trên cơ sở chế tạo thành công mô hình vật lý của sàn treo ba bậc tự do tiến hành xây dựng cấu trúc điều khiển sử dụng thuật toán dự báo MLP để điều khiển mô hình sàn treo vật lý vừa được chế tạo để thu thập kết quả thực nghiệm.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ MÔ PHỎNG HÀNG HẢI VÀ MÔ HÌNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CHUYỂN ĐỘNG TÀU THỦY

1.1 Giới thiệu về hệ thống mô phỏng hàng hải

Vận hành, khai thác hệ thống các thiết bị hàng hải là một việc làm hết sức quan trọng với các học viên thuộc nhóm ngành hàng hải, nó trang bị cho các học viên các kỹ năng cần thiết trước khi ra trường và công tác trên các con tàu. Như đã đề cập trong phần mở đầu, việc đào tạo học viên trên các con tàu thật rất tốn kém nhiên liệu làm tăng chi phí, thiết bị, nguồn lực và dễ tạo ra các sự cố nguy hiểm gây hỏng hóc cho thiết bị thật. Ngoài ra, việc huấn luyện trên các tàu thật còn gặp rất nhiều khó khi muốn xây dựng các tình huống sự cố nhằm tạo ra các trải nghiệm cần thiết cho học viên. Để khắc phục tình trạng này trong đào tạo, hiện nay người ta sẽ sử dụng công nghệ thực tế ảo 3D để mô phỏng các trang thiết bị, các tình huống có thể xảy ra trong quá trình huấn luyện. Khi người vận hành thực hiện trên chương trình mô phỏng buồng lái tàu một cách an toàn, việc hạn chế rủi ro càng lớn thì trong thực tế các tình huống nguy hiểm cho quá trình điều động tàu sẽ được phát hiện và giảm thiểu càng nhiều.



Hình 1.1 Hệ thống mô phỏng hàng hải

Một hệ thống mô phỏng hàng hải (hình 1.1) là một khái niệm rộng, bao quát nó bao gồm thành phần chính là mô phỏng chuyển động của tàu thủy và nhiều hệ thống thiết bị mô phỏng khác như:

- Hệ thống Radar;
- Hệ thống hải đồ điện tử (EDICS);
- Hệ thống máy đo sâu;

- Hệ thống định vị vệ tinh GPS;
- Hệ thống la bàn;
- Hệ thống điều khiển máy lái;
- Hệ thống mô phỏng điều khiển máy.

Trong các thành phần của hệ thống mô phỏng hàng hải thì mô phỏng chuyển động của tàu thủy và mô phỏng lái tàu là các hệ thống rất quan trọng. Nó giúp cho học viên nắm được kỹ năng điều khiển một con tàu khi điều động trong luồng lạch, vùng nước nông, dòng chảy hay khi tàu hành trình trên biển với những điều kiện thời tiết biển khác nhau như sóng, gió, mưa, bão...



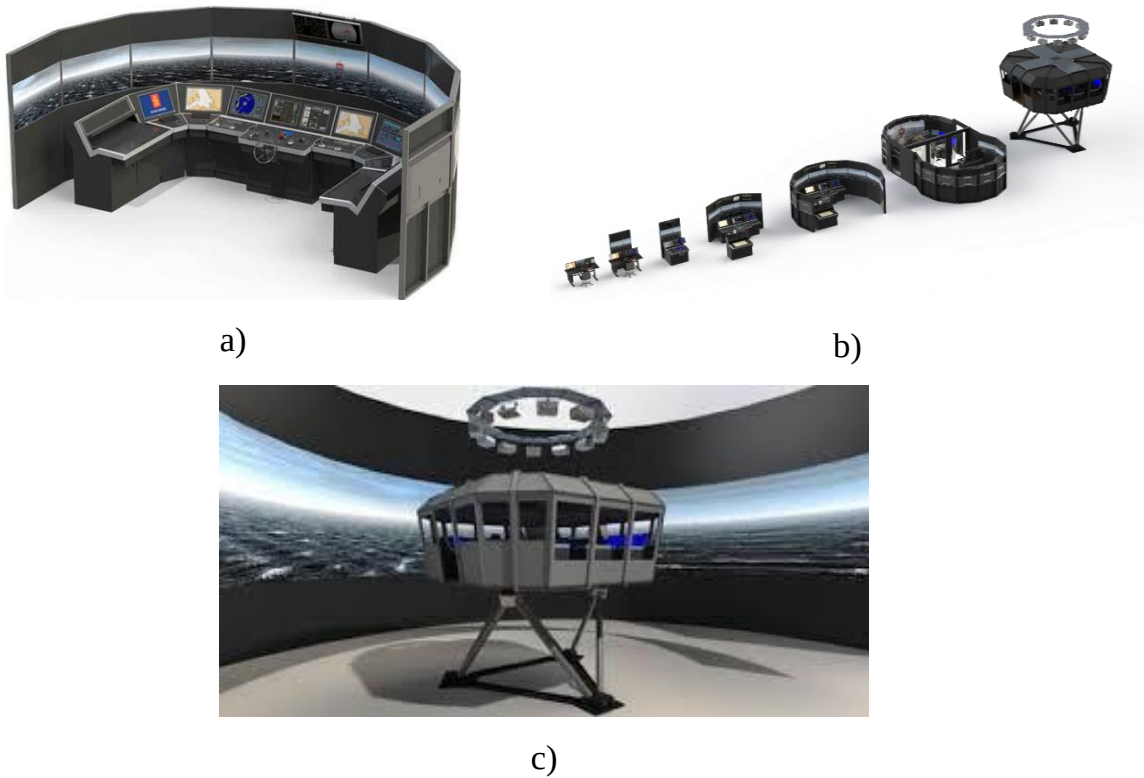
Hình 1.2 Hệ thống mô phỏng lái tàu thủy

Trên hình 1.2 là một minh họa hệ thống mô phỏng lái tàu thủy, hệ thống mô phỏng lái tàu thủy bao gồm các thiết bị chính như:

- Hệ thống mô phỏng chuyển động của tàu thủy với các màn hình (máy chiếu): nhằm hiển thị chuyển động của tàu chủ, tàu mục tiêu, cảnh vật như mặt biển, con tàu, luồng lạch... để người vận hành quan sát và điều khiển con tàu chính xác.
- Tay trang điều khiển tốc độ máy chính để nhận tín hiệu điều khiển tốc độ con tàu từ người vận hành.
- Vô lăng lái để chuyển tín hiệu góc bẻ lái từ người vận hành đến con tàu chủ.
- Hệ thống điều khiển khả trình (PLC) và các module mở rộng để nhận tín hiệu điều khiển và giao tiếp với máy tính.

Hiện nay, có rất nhiều các công trình nghiên cứu, các viện nghiên cứu, các hãng trên thế giới tham gia nghiên cứu, sản xuất, chế tạo các hệ thống này, như các: ACE, Transas, Kongsberg Marine, NAUTIS, ARI... Hầu hết các đơn vị này có truyền thống phát triển lâu đời với nhiều ưu điểm nổi bật như áp dụng công nghệ tiên tiến trong thiết

kế phần cứng và lập trình đẹp, tối ưu hóa trong phần mềm. Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng Kongsberg Marine như hình 1.3



Hình 1.3 Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng Kongsberg Marine

Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng Wärtsilä/Transas có sử dụng hệ thống máy chiếu cùng với hệ truyền động cho cabin buồng lái dạng thủy lực như hình 1.4



Hình 1.4 Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng Wärtsilä/Transas

Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng NAUTIS/VSTEP với góc nhìn 360 độ sử dụng các ma trận TV dạng LED như hình 1.5



Hình 1.5 Hệ thống mô phỏng hàng hải của hãng NAUTIS/VSTEP

Như vậy, nếu phân tích về mặt cấu trúc dạng module thì hệ thống mô phỏng hàng hải thường có cấu trúc bao gồm 03 thành phần chính như sau:

- Hệ thống mô phỏng 3D chuyển động tàu thủy để tạo ra hình ảnh với góc nhìn đủ rộng cho sỹ quan hàng hải quan sát, nó tạo ra cảm giác hình ảnh cho người vận hành như đang đứng trong buồng cabin lái của một con tàu thật, thành phần này bao gồm hệ thống máy tính chủ và màn hình TV hoặc máy chiếu.

- Hệ thống bàn điều khiển control console với các thiết bị hàng hải được mô phỏng cho phép người vận hành có thể giao tiếp như thiết bị thật để điều khiển và tương tác với con tàu chủ.

- Hệ thống sàn treo nhiều bậc tự do thường từ 2 tới 6DOF mô phỏng chuyển động, để đỡ cabin buồng lái và tạo ra cảm giác vật lý thật như nghiêng, lắc, trượt đồng bộ với hình ảnh ở thành phần thứ nhất.

Để đồng bộ dữ liệu của 03 thành phần trên ta phải sử dụng hệ thống mạng truyền thông tốc độ cao. Hiện nay, các cơ quan/đơn vị đào tạo, huấn luyện sỹ quan hàng hải trên thế giới đa số sử dụng mô hình với cấu hình gồm 02 thành phần đầu tiên và rất ít các cơ quan/đơn vị sử dụng cấu trúc đầy đủ gồm cả 03 thành phần. Ở Việt Nam hiện nay, chưa có một trung tâm huấn luyện nào trang bị hệ thống mô phỏng hàng hải có thêm thành phần thứ ba là hệ thống sàn treo cabin.

Mô phỏng chuyển động tàu thủy 3D và mô phỏng chuyển động vật lý nhiều bậc tự do là hai khía cạnh cơ bản trong mô phỏng hàng hải. Nó đang được rất nhiều nhà

khoa học tiếp tục nghiên cứu và tạo ra những công trình mới đáp ứng các yêu cầu ngày càng cao về chất lượng, hiệu quả cả về kinh tế lẫn kỹ thuật. Để xác định được khoảng trống và định hướng nghiên cứu, trong mục dưới đây NCS sẽ tổng quan các nghiên cứu có liên quan đến đề tài luận án ở trong và ngoài nước.

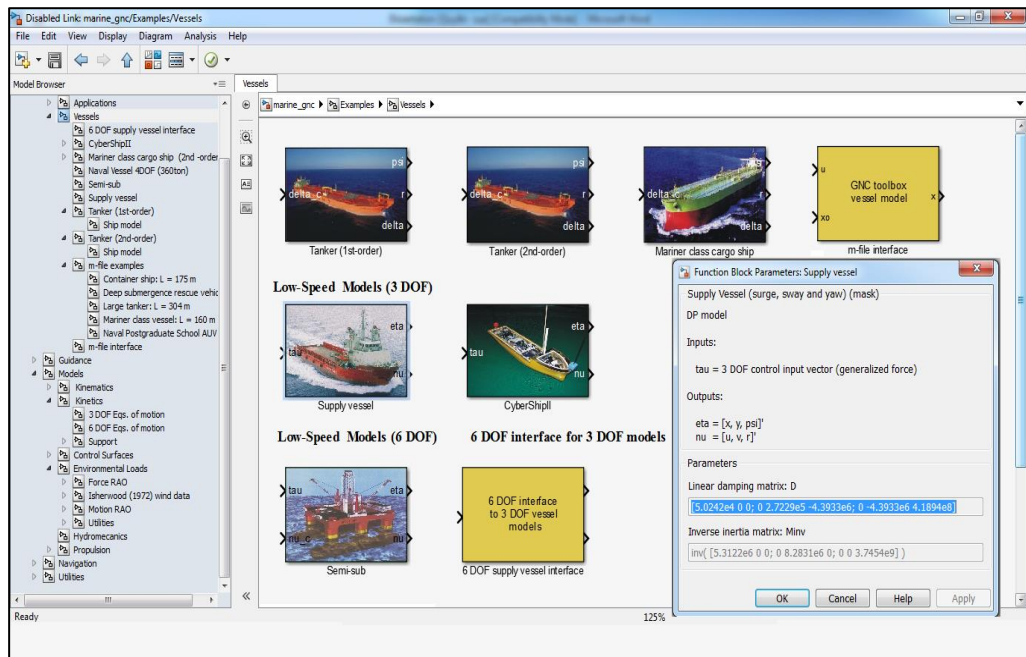
1.2 Tính hình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến đề tài luận án

1.2.1 Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Các công trình nghiên cứu mô phỏng chuyển động tàu thủy trên cơ sở các công cụ Matlab/Simulink:

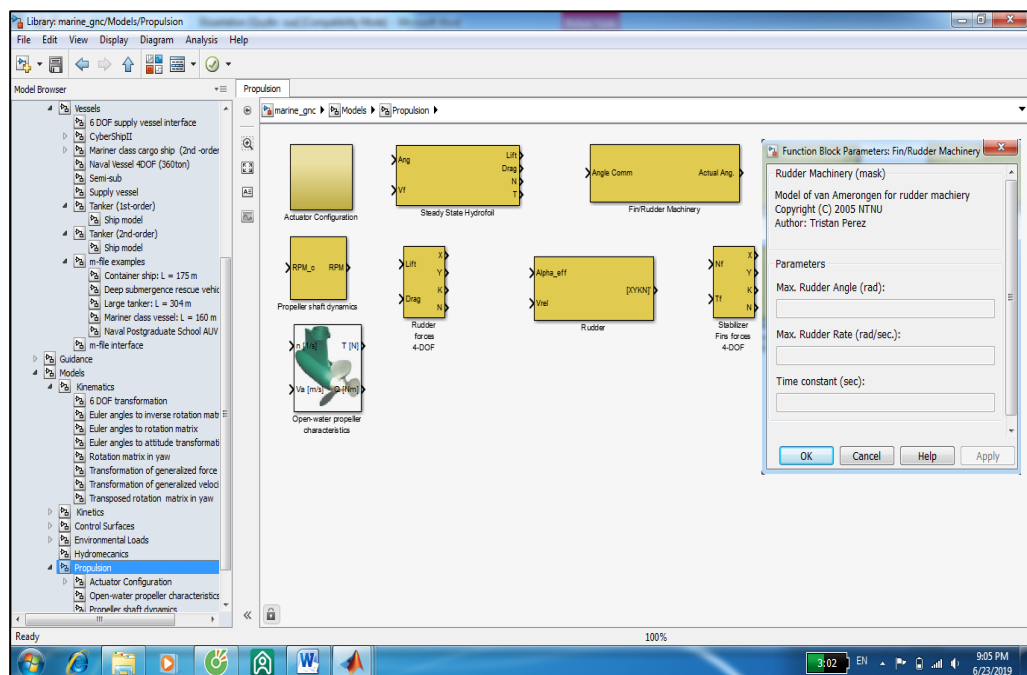
Phổ biến nhất trong nghiên cứu mô phỏng chuyển động tàu thủy là các công trình nghiên cứu của tác giả **Kenji Yoshimura, Nobuo Mitomo, Tadatsugi Okazaki, Kenjiro Hikida, Koji Murai** [47] đã đánh giá quá trình hoạt động của phương tiện hàng hải sử dụng mô phỏng cầu. Nội dung công trình này mới chỉ mô phỏng cho thấy các hiện tượng vật lý của tàu thủy khi chuyển động trong môi trường biển. Công trình của tác giả: **Perez T, and Blanke M** [48] với nội dung mô phỏng chuyển động của Tàu thủy hoạt động trên biển. Nội dung của công trình này là chủ yếu dựa vào mô hình toán của tàu thủy, mô hình nhiễu tác động: sóng, gió, hải lưu để mô phỏng các đặc tính chuyển động tàu thủy hoạt động trên biển. Công trình của tác giả: **Perez T, Smogeli O, Fossen T, and Sorensen A** [49] đã xây dựng hệ thống mô phỏng của các phương tiện hàng hải (MSS-GNC: Mariner Simulation System - Guide Navigation Control) dựa trên phần mềm Matlab, phần mềm này chỉ phục vụ cho việc mô phỏng để lấy các đặc tính điều khiển. Các thư viện ứng dụng điều khiển chuyển động tàu trong MSS-GNC bao gồm:

Thư viện mô hình tàu (Model vessel): thư viện này bao gồm các loại mô hình tàu được xây dựng sẵn như: tàu hàng, tàu dịch vụ, kho nổi... Hình 1.6. Các mô hình tàu này thể hiện đầy đủ những tính chất động học, bản chất vật lý của từng loại tàu. Với mỗi loại tàu cho phép cài đặt đầy đủ các thông số của một đối tượng tàu cụ thể.



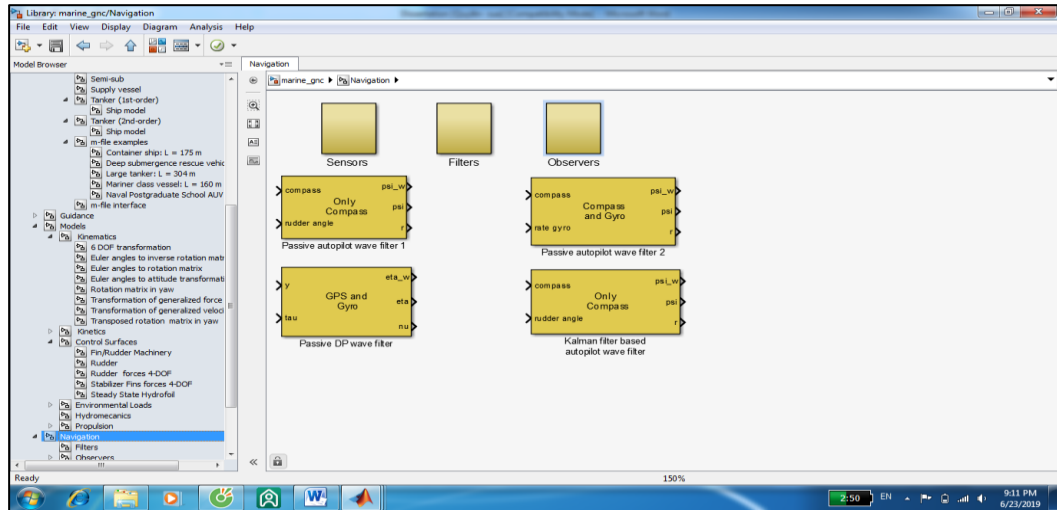
Hình 1.6 Thư viện các loại mô hình tàu trong MSS-GNC Toolbox

Thư viện cơ cấu chấp hành (Model control surface): thư viện này bao gồm các loại mô hình cơ cấu thực hiện được xây dựng sẵn như: mô hình chân vịt, mô hình bánh lái... Hình 1.7.



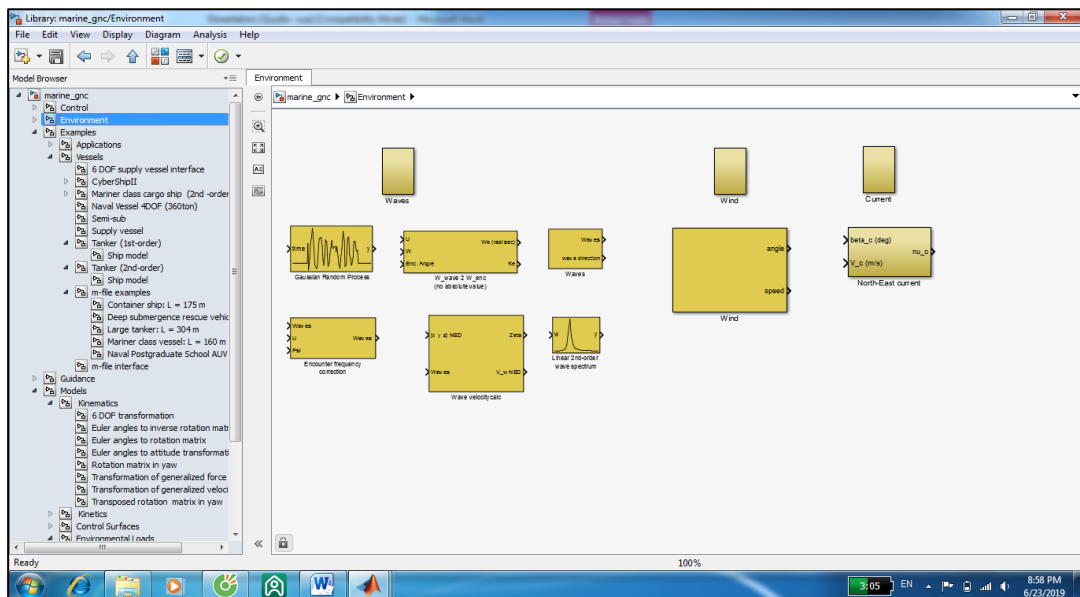
Hình 1.7 Thư viện cơ cấu chấp hành trong MSS-GNC Toolbox

Thư viện thiết bị dẫn đường (Navigation): thư viện này bao gồm các loại mô hình thiết bị dẫn đường được xây dựng sẵn như GPS, la bàn... Hình 1.8.



Hình 1.8 Thư viện thiết bị đo, quan sát tín hiệu hàng hải trong MSS-GNC

Thư viện mô tả nhiễu loạn môi trường (Environment): thư viện này bao gồm các loại mô hình sóng, gió, dòng chảy... Hình 1.9. Trong đó cho phép cài đặt các loại nhiễu loạn với mức độ khác nhau như cấp sóng, hướng gió, vận tốc dòng chảy...



Hình 1.9 Thư viện các loại nhiễu loạn môi trường trong MSS-GNC Toolbox

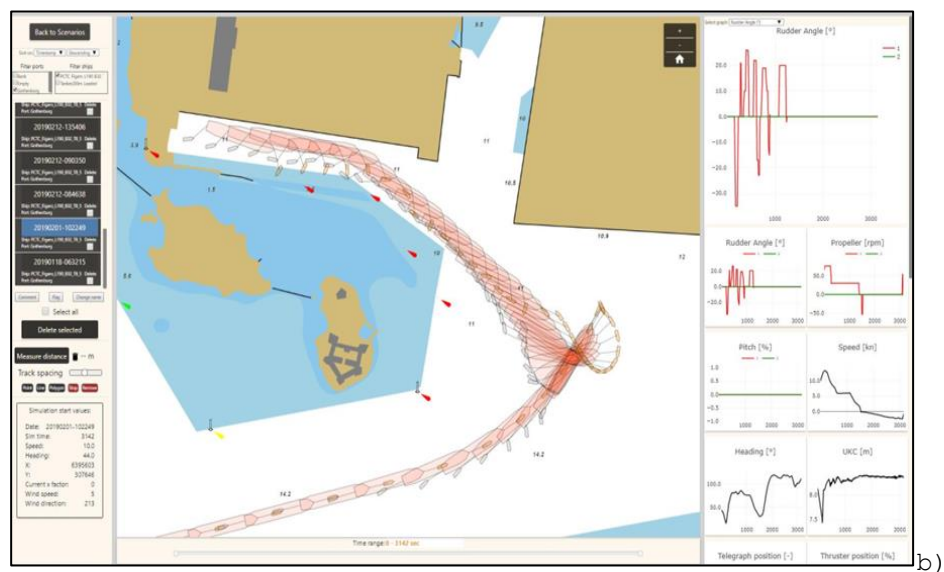
Các công trình mô phỏng chuyển động tàu thủy trực tuyến dựa trên nền tảng

Website:

Công trình của tác giả N. A. Costa¹, R. Weber², F. Olsson¹ and J. Algell¹ [51] đã xây dựng hệ thống mô phỏng hoạt động của phương tiện Hàng hải trực tuyến “Seaman Online” dựa trên nền tảng Website với mục đích đào tạo cho các Sinh Viên và sỹ quan Hàng hải có cái nhìn tổng quan về quá trình hoạt động của phương tiện Hàng hải trên biển. Một số hình ảnh của Website khi mô phỏng hoạt động như sau:



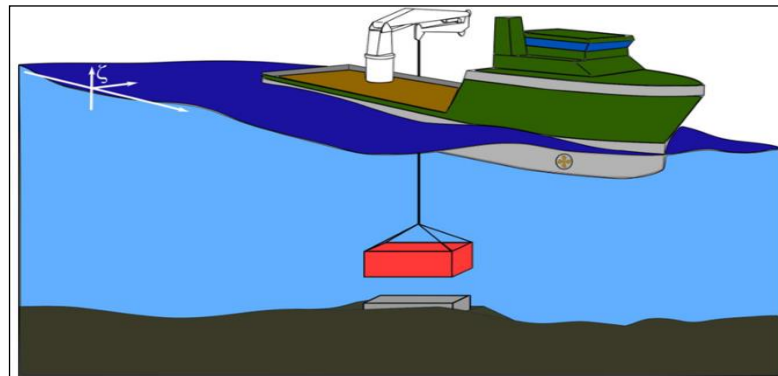
a)



b)

Hình 1.10 Hình ảnh luồng và thực địa trên phần mềm Seaman Online

Công trình của tác giả: Stian Skjong [52] đã xây dựng mô hình hóa và mô phỏng các hệ thống và hoạt động của các phương tiện Hàng hải tạo thực tế ảo bằng cách sử dụng phần mềm Mô phỏng Co-Simulations, hình ảnh thực tế ảo trên phần mềm Co-Simulations.



Hình 1.11 Hình ảnh mô phỏng chuyển động tàu thủy trên phần mềm Co-Simulations

Các công trình mô phỏng hàng hải ứng dụng các công cụ 3D:

Công trình của tác giả: **Rybczak & A. Rak** [53] mới chỉ xây dựng phần mềm mô phỏng các tác động của nhiều: sóng, gió, dòng chảy...chưa đề cập đến vấn đề mô phỏng chuyển động của các phương tiện hàng hải. Công trình của tác giả: **Charlott Sellberg** [54] đã xây dựng phần mềm mô phỏng huấn luyện cho các sỹ quan hàng hải dựa trên nền tảng của hãng Kongsberg.



a)



b)

Hình 1.12 Hình ảnh mô phỏng hệ thống phương tiện Hàng hải dựa trên nền tảng của hãng Kongsberg

Các công trình nghiên cứu mô phỏng hàng hải có tích hợp mô phỏng chuyển động nhiều bậc tự do cho sàn treo cabin dạng Stewart Platform:

Hệ thống mô phỏng hàng hải đã được các nhà khoa học quốc tế nghiên cứu và triển khai thành sản phẩm thương mại. Các hệ thống mô phỏng của nước ngoài thường có tính chất độc lập và giới hạn phạm vi vận hành trong một phòng huấn luyện buồng lái, buồng máy hoặc bảng điện mà không hỗ trợ nhiều việc liên kết thông tin giữa các buồng để tạo ra một cấu trúc hợp luyện hoàn chỉnh như một con tàu. Đặc biệt, hệ thống mô phỏng hàng hải có tích hợp mô phỏng chuyển động nhiều bậc tự do cho sàn treo cabin. Stewart Platform là một trong những mô hình chuyển động được biết đến rộng rãi nhất. Loại cơ chế này đã được Stewart trình bày trong công trình [52], chủ yếu để thực hiện mô phỏng chuyển bay. Trong nghiên cứu đó, Stewart tập trung vào việc tạo ra một nền tảng 6 bậc tự do (6 DOF). Nền tảng này sử dụng tối đa sáu động cơ và mỗi động cơ phải làm việc trực tiếp với cùng một tải trọng, do đó có được tỷ lệ cao giữa tải trọng chuyển động so với trọng lượng của cấu trúc. Do bản chất của cơ chế do Stewart đề xuất, đây được coi là một mô hình chuyển động hỗn hợp, là một bộ điều khiển bao gồm một cơ sở cố định và một nền tảng di chuyển thông qua hai hoặc nhiều chuỗi động học khép kín (trong trường hợp cụ thể của Stewart Platform là 6) và với khả năng thực hiện các chuyển động tịnh tiến và hình cầu. Sau đó, các khái niệm trừu tượng đã được khái quát hoá và sửa đổi thành một mô hình phổ biến hơn trong công trình [53]. Kiến trúc Stewart Platform tổng quát này dựa trên việc sử dụng hai thân cứng (phần đế và phần di động), được kết nối bởi sáu bộ phận có thể mở rộng với các khớp hình cầu ở đầu dưới và đầu trên của chúng hoặc với một khớp chung ở một đầu và một khớp hình cầu ở khác [53].

Theo công trình [54], Stewart Platform có thể có đến 34 cấu hình khác nhau, trong đó phổ biến nhất là cấu hình 3-3, 6-3 và 6-6. Cấu hình 3-3 tương ứng với một chân đế và một bộ di động, cả hai đều có hình tam giác, với hai bộ truyền động được đặt ở mỗi đỉnh và có các khớp đồng tâm. Các ví dụ về việc sử dụng các cấu hình như vậy đã được nghiên cứu trong công trình [55,56]. Cấu hình 6-3 bao gồm bộ cơ sở có hình lục giác (nó có thể đều hoặc không đều theo công trình [57]) và bộ chuyển động có hình tam giác, với các cơ cấu truyền động được đặt theo hình học, hai cơ cấu truyền động ở mỗi đỉnh của bộ chuyển động và một tại mỗi đỉnh của cơ sở. Ví dụ về các cấu hình này đã được nghiên cứu trong công trình [58-60]. Cuối cùng, cấu hình 6-6 tương ứng với hai bộ lục giác (phần đế và phần di động), có thể là lục giác không đều hoặc lục giác đều,

với các bộ truyền động được bố trí từng cái một ở mỗi đỉnh của bộ. Ví dụ về cấu hình này có thể được tìm thấy trong công trình [61,62].

Các cấu hình trên đóng vai trò rất quan trọng đối với nghiên cứu động học của Stewart Platform vì động học phụ thuộc rất nhiều vào thiết kế hình học của bộ [63]. Động học tập trung vào việc nghiên cứu chuyển động của một cơ chế đối với một hệ quy chiếu, chỉ tính đến hình học của nó chứ không tính đến các lực có thể tác động lên nó. Nghiên cứu về chuyển động học này có thể được chia thành chuyển động học thuận và chuyển động học nghịch đảo. Chuyển động học thuận tập trung vào việc xác định vị trí và hướng của phần tử đầu cuối đối với hệ quy chiếu, cho rằng các giá trị của các mối nối và dạng hình học đã được biết trước. Mặt khác, chuyển động học nghịch đảo trình bày một giải pháp cấu hình khớp cho một vị trí và hướng nhất định của phần tử cuối.

Đối với Stewart Platform, chuyển động nghịch đảo dễ dàng hơn về mặt tính toán so với chuyển động chuyển tiếp [64]. Thật vậy, chuyển động học nghịch đảo đã được thực hiện trong hầu hết các nghiên cứu về Stewart Platform. Các giải pháp cho động học nghịch đảo đã được đưa ra một cách chi tiết, hoặc được biểu thị bằng các phương trình vòng lặp phân tích [65-68], dựa trên phép biến đổi tọa độ thuần nhất [69,70], hoặc sử dụng lý thuyết trục vít [71,72].

Nhiều nhà nghiên cứu cũng đã tập trung vào nghiên cứu chuyển động học trực tiếp từ các quan điểm khác nhau: các tác giả của [64] đã trình bày phân bổ đầu tiên của các phương trình chuyển động học trực tiếp của Stewart Platform với cấu hình SPS. Công trình [65] đã đưa ra một giải pháp cho vấn đề này bằng cách sử dụng lý thuyết trục vít. Trong [73], phân tích khép kín dựa trên việc sử dụng hình học để đơn giản hóa các tính toán. Công trình [74], một thí nghiệm xác minh động lực học được thực hiện bằng cách sử dụng Stewart Platform, bao gồm mô hình động lực học, xác định tham số và phân tích dữ liệu.

Các công trình nghiên cứu mô phỏng chuyển động nhiều bậc tự do cho sàn treo cabin dạng Stewart Platform sử dụng cơ cấu chấp hành là động cơ servo:

Đối với đáp ứng tính thời gian thực trong công nghiệp, động cơ servo và bộ điều khiển công nghiệp đã ít được nghiên cứu trong tài liệu so với các thiết bị giá rẻ như Raspberry và Arduino, hoặc mô phỏng trong MATLAB, Simulink, SimMechanics, ADAMS... [75,76-80]. Hơn nữa, việc thực hiện các chuyển động học nghịch đảo trong loại thiết bị này được nghiên cứu nhiều hơn so với việc thực hiện các chuyển động học

trực tiếp. Ngoài ra, việc sử dụng các bộ điều khiển công nghiệp cũng được thúc đẩy bởi nhu cầu định vị tốt và hoạt động đồng bộ của tất cả các bộ truyền động tuyến tính để đạt được độ chính xác cao trong các ứng dụng với Stewart Platform [81].

Tùy thuộc vào cấu trúc phần cứng của hệ thống điều khiển, một số thí nghiệm được sử dụng với MATLAB chạy trên máy tính cá nhân hoặc máy tính công nghiệp để thực hiện một số tính toán và gửi lệnh trực đến một bộ điều khiển động cơ cụ thể. Công trình [82] đã nghiên cứu các kỹ thuật điều khiển dựa trên khả năng thời gian thực bằng MATLAB và Labview trên máy tính có bộ điều khiển động cơ được gọi là “Phidget Advanced Servo”. Các tác giả của công trình [83] tập trung vào việc truyền các lệnh định vị tới Stewart Platform sử dụng máy tính cá nhân thông thường (hệ điều hành Windows) có bảng điều khiển chuyển động servo làm bộ điều khiển. Các tác giả đã phát triển một hệ thống điều khiển chuyển động được nối mạng để đảm bảo việc sử dụng các lệnh chuyển động và điều khiển đồng bộ trong động cơ tuyến tính công nghiệp.

Những nỗ lực khoa học đã được đưa vào phân tích động học, như một vấn đề quan trọng trong bộ chuyển động song song (PMs) 3 bậc tự do (3 DOF), bao gồm chuyển động học ngược và thuận. Nói chung, các phương pháp truyền thống để giải bài toán chuyển động chuyển tiếp có thể được chia thành hai loại chính, tức là các giải pháp dạng đóng [84,85-89] và các phương pháp tiếp cận số [90,91,92,93,94,95]. Các giải pháp dạng đóng được sử dụng chủ yếu bao gồm phương pháp phân tích [84], phương pháp cơ sở [85], phương pháp loại trừ đại số [86], phương pháp quaternion đối ngẫu [87], phương pháp tiếp cận hình học [88], phương pháp tiếp cận vectơ [89]... Các phương pháp này cần xây dựng một mô hình toán học phức tạp, đồng thời quá trình tính toán tốn nhiều thời gian. Hơn nữa, tính khái quát của chúng không tốt lắm do sự khác biệt về độ hội tụ của các PM, có nghĩa là chúng không thể được áp dụng cho tất cả các PM. Để giải quyết những vấn đề này, các phương pháp tiếp cận số được đề xuất, trong đó phương pháp lặp Newton [90,96] là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất. Với sự phát triển của các thuật toán thông minh, chẳng hạn như mạng nơron [91,92], thuật toán di truyền [93], hồi quy vectơ hỗ trợ [95], mô phỏng thuật toán ủ [97]..., chúng cũng đã được tính đến để phân tích chuyển động chuyển tiếp.

Để tìm ra một phương pháp có hiệu suất tốt nhằm giải quyết vấn đề chuyển động chuyển tiếp của bộ chuyển động song song được đề xuất trong công trình [98], ba cách tiếp cận khác nhau, cụ thể là mạng nơron BPNN, thuật toán bầy đàn thông minh và

phương pháp lặp Newton cải tiến, đã được xem xét và đưa ra những ưu điểm và nhược điểm của từng phương pháp. Độ chính xác dự đoán của mạng nơ ron BPNN thấp nhất trong ba phương pháp, cần có các mẫu học đầy đủ để đạt được độ chính xác mong đợi và cần một thời gian dài để huấn mạng. Tuy nhiên, nó sở hữu tốc độ tính toán cao nhất sau khi quá trình đào tạo huấn mạng. Tương tự như vậy, thuật toán bầy đàn thông minh cho thấy cả độ chính xác tính toán và thời gian tính toán đều ở mức trung bình, nhưng sẽ thuận tiện hơn khi áp dụng cho bài toán chuyển động chuyển tiếp phổ biến, vì nó không cần phải chọn các giá trị lặp ban đầu hoặc xây dựng các mẫu học. Cuối cùng, phương pháp lặp Newton cải tiến, có thể cung cấp các giá trị ban đầu tốt, có độ chính xác tính toán cao nhất và tốc độ tính toán cao. Tóm lại, phương pháp lặp Newton cải tiến sẽ là lựa chọn tốt nhất để giải quyết vấn đề chuyển động chuyển tiếp với góc quay nhỏ.

Khác với động học chuyển tiếp, động học ngược cung cấp cho các khớp chuyển động vị trí cụ thể trong hệ quy chiếu; điều này có thể được đồng hóa với một vấn đề hình học và được giải quyết bằng cách sử dụng mô hình hình học và lượng giác [99]. Công thức dựa trên ma trận của mô hình chuyển động học cũng cung cấp một giải pháp khả thi cho chuyển động học ngược, mô hình hoàn toàn có thể đảo ngược hoặc có thể giả thuyết ngược giả để đưa ra các giải pháp gần đúng với bài toán [100,101]

Các công trình nghiên cứu ứng dụng Fuzzy, LQR, mạng nơron trong truyền động:

Các kỹ thuật tiên tiến ngày nay như thuật toán tiến hóa, mạng nơron, đã được nghiên cứu để giải quyết chuyển động học ngược trong bộ chuyển động song song trên robot [102,103]. Để sử dụng các kỹ thuật như thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (PSO), bài toán động học ngược được chuyển thành bài toán tối ưu hóa bằng cách sử dụng chuyển động chuyển tiếp và hàm mục tiêu [102,103,104].

Kết quả từ công trình [94] sử dụng thuật toán tối ưu hoá bầy đàn cho chuyển động ngược đã cho thấy bằng chứng về việc khắc phục vấn đề động học ngược mà không cần tính toán mô hình ngược. Mô hình ngược thu được bằng cách sử dụng tính toán ma trận, độ phân giải đại số, lặp lại hoặc hình học, được cho là phức tạp. Tất cả các biến thể được thử nghiệm đều cho thấy bằng chứng về sự hội tụ, sử dụng các tham số cổ điển tương ứng của chúng. Một số biến thể cho thấy sự hội tụ tốc độ cao. Tuy nhiên, số

lần thử của công trình khá hạn chế và cần số lượng lần thử lớn hơn để cho ra kết quả tốt hơn.

Ưu điểm chính của Stewart Platform khi được ứng dụng trong robot đã mang đến nhiều ưu điểm như bộ chuyển động song song có khả năng chịu tải cao khi di chuyển trên một đường thẳng định trước. Khả năng này làm cho nó thích hợp được sử dụng trong các môi trường công nghiệp để dẫn hướng máy móc hoặc công cụ đi theo đường mong muốn trong một không gian làm việc lớn và độ cứng cao. Do đó, kiểm soát và tối ưu hóa lực của cơ cấu nâng với độ chính xác cao nhất có thể là một trong những mục tiêu hàng đầu để giảm thiểu công suất và năng lượng tiêu thụ. Tuy nhiên, do các đặc điểm song song của bộ chuyển động, quy trình điều khiển gặp rất nhiều khó khăn. Để đạt được khả năng điều khiển và việc tối ưu hóa hệ thống tốt, công trình [105] đã sử dụng vòng điều khiển tuần tự kép của phương pháp tuyến tính hoá tối ưu phản hồi đồng thời động lực học của cơ cấu nâng cũng được mô hình hoá để tăng độ chính xác.

Cơ cấu này đầu tiên được phát triển dưới dạng chuyển động 6 bậc tự do (6 DOF). Phần trên của cơ cấu là một hình tam giác và các khớp hình cầu được sử dụng cho sáu bộ truyền động [52] và được sử dụng như một thiết bị mô phỏng bay [106]. Một trong những thiết bị mô phỏng lái xe quan trọng nhất cũng được thiết kế và sản xuất tại Đại học Iowa bằng cách sử dụng mô hình này [107]. Ban đầu, các vòng lặp hở được sử dụng để kiểm soát, điều này làm giảm hiệu quả của mô hình đối với các nhiễu. Sau này, các hệ thống vòng kín đã được phát triển thay thế hệ thống vòng hở.

Để cung cấp độ chính xác cần thiết cho các robot phẫu thuật xây dựng trên Stewart Platform, điều khiển thích ứng đã các tác giả của công trình [108,109] thực hiện để tăng độ chính xác của robot. Tuy nhiên, công trình [108,109] vẫn tồn tại vấn đề ma sát phi tuyến lớn và đã được công trình [110] giải quyết. Các tác giả của công trình [111,112,113] đã sử dụng phương pháp điều khiển phi tuyến mạnh dựa trên phương pháp Fuzzy để loại bỏ tác động của nhiễu bên ngoài. Tuy nhiên, các công trình nói trên không sử dụng bất kỳ công cụ tối ưu nào để tiết kiệm năng lượng. Công trình [114] đã tối ưu hóa robot Stewart bằng cách sử dụng thuật toán di truyền. Vì phương pháp này cần một quy trình tính toán ngoại tuyến lớn nên nó không thể áp dụng cho các ứng dụng trực tuyến qua mạng. Toán học cơ bản của điều khiển tối ưu phân tích áp dụng cho các cánh tay robot được trình bày trong [115], phù hợp hơn cho việc tối ưu hóa trực tuyến. Một trong những bộ điều khiển tối ưu vòng kín phổ biến nhất được thiết kế đặc biệt cho

các hệ thống robot được tuyến tính hóa là LQR. Phương pháp này đã được cải tiến trong công trình [116] dựa trên bù động lực học của rô bốt. Một trong những ví dụ về rô bốt song song được điều khiển và tối ưu hóa bằng LQR là robot cáp, là một phiên bản khác của người điều khiển song song và được tối ưu hóa trong công trình [117] dựa trên LQR. Tuy nhiên, loại robot này có độ cứng thấp và chúng không thích hợp để thao tác chính xác với tải nặng. Mặt khác, động lực học của hệ thống piston không được xem xét trong hầu hết các nghiên cứu nói trên, trong khi chúng có thể có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình thao tác, đặc biệt đối với các trường hợp quy mô nhỏ với tải trọng nhẹ. Động lực học của hệ thống kích được nghiên cứu trong công trình [118], tuy nhiên quá trình kiểm soát lực và động lực học của bàn nâng không được tối ưu hoá.

Trong công trình [105], thuật toán tuyến tính hóa phản hồi được sử dụng để điều khiển động lực học phi tuyến tính của robot Stewart, đây là một phương pháp điều khiển chuyển động nhanh chóng và ổn định. Ngoài ra, việc tuyến tính hóa các phương trình giúp hệ thống được tối ưu với hàm mục tiêu xác định, mang lại độ chính xác cao nhất với lượng năng lượng tiêu thụ thấp nhất. Bên cạnh đó, để tăng độ chính xác của hệ thống, khối lượng và động lực học hệ thống piston cũng được mô hình hóa, kết nối với động lực học của hệ thống chính. Cuối cùng, hai vòng điều khiển tuần tự được sử dụng để tăng gấp đôi độ chính xác, các vòng lặp trong - động lực học bán tuyến tính của hệ thống piston được điều khiển bằng bộ điều khiển PID.

Lực ma sát giữa các khớp của robot là một trong những mục tiêu quan trọng cần được tính toán kỹ lưỡng. Tác động đầu cuối trên mỗi robot là hoàn toàn khác nhau. Công trình [119] nghiên cứu một mô hình động lực học 3 bậc tự do và sử dụng các ràng buộc nhằm giảm thiểu các hệ số cần tính toán. Tuy nhiên, các ràng buộc này lại gián tiếp bỏ qua hệ số ma sát của hệ động lực học. Nổi lên ở đây là khái niệm điều khiển vòng kín của các hệ thống cơ học robot trong đó việc đạt được vị trí của EE là cần thiết. Trong trường hợp của người thao tác nối tiếp, vị trí của EE có được bằng cách giải bài toán chuyển động thuận [120]. Nói chung, bài toán động học thuận của PMs dẫn đến việc giải một hệ phương trình đa thức phi tuyến tính khởi đầu cho cả những thách thức cơ học và toán học. Hầu hết các phương pháp phân tích được đề xuất để giải quyết vấn đề thứ hai không thể áp dụng thực tế trong bộ điều khiển do vấn đề thời gian thực và do đó các phương pháp số được đề xuất không phải lúc nào cũng chính xác và đáng tin cậy. Một giải pháp thay thế khác cho vấn đề thứ hai bao gồm sử dụng các cảm biến phụ

trong tất cả các khớp chủ động và bị động, [121, 122] làm giảm độ phức tạp của hệ phương trình cần giải. Phương pháp nêu trên có thể làm giảm không gian làm việc của cơ chế trong khi nó không phải lúc nào cũng có thể áp dụng trên thực tế. Một trong những phương pháp phổ biến để xác định vị trí của EE là sử dụng cảm biến dựa trên tầm nhìn [123].

Điều khiển động lực học của bộ chuyển động song song luôn phải đối mặt với rất nhiều thách thức về cả lý thuyết và thực tế. Các điều khiển chuyển động khác nhau của bộ chuyển động song song 2 bậc tự do (2-DOF), bao gồm Điều khiển PID, Điều khiển mômen xoắn đã được đề xuất và đánh giá dựa trên mô phỏng trong công trình [124]. Trong công trình [125], cấu trúc điều khiển hai vòng đã được đề xuất để chống lại ảnh hưởng của lực ma sát và động lực học của khớp nổi lên độ chính xác khi định vị bộ chuyển động song song. Trong công trình [126], đề xuất một thiết kế tối ưu chuyển động với tốc độ cao được điều khiển thông qua bộ điều khiển PD đơn giản. Một bộ chuyển động song song 3 bậc tự do (3-DOF) tốc độ cao, độ chính xác cao khác cũng được công trình [127] nghiên cứu. Các vấn đề kỹ thuật được đảm bảo dựa trên tuyến tính hoá mô hình động kết hợp với các ưu điểm của phương pháp kết hợp lỗi. Hiệu suất của các thuật toán điều khiển khác nhau bao gồm: Bộ điều khiển PI, bộ điều khiển đồng bộ thích ứng, bộ điều khiển PID và bộ điều khiển kiểm soát thích ứng đã được đánh giá trên bộ chuyển động song song 3 bậc tự do trong công trình [128]. Tác giả của công trình [129] đã đề xuất một bộ điều khiển vòng kín hiệu quả có khả năng điều khiển bộ chuyển động song song 3 bậc tự do có xét đến tác động của ma sát và độ trễ phản hồi.

Để đáp ứng được về mặt thời gian thực (realtime) thì các công trình trong nhóm này đều lấy tín hiệu điều khiển cho đầu vào điều khiển cơ cấu chấp hành là lực hoặc mômen từ phương tiện giao thông vận tải. Như vậy, tín hiệu đầu vào là lực hoặc mômen sẽ cung cấp cho hai mô hình song song là mô hình được tạo ra từ phần mềm mô phỏng 3D để tạo ra hình ảnh chuyển động và mô hình trong bộ điều khiển các chuyển động song song nhằm tạo ra các chuyển động tự do của sàn treo. Phương án này kết hợp với các bộ điều khiển vòng kín vị trí PID, Fuzzy, LQR hoặc mạng nơron đã khắc phục phần nào được độ trễ đồng bộ nhưng lại không kiểm soát được độ chính xác, có thời điểm sai số đến 32%, một số công trình còn cho thấy tăng tổn thất năng lượng khi ma sát hệ thống không được giải quyết triệt để.

Các công trình nghiên cứu về động học ngược liên quan đến tính chính xác của chuyển động sàn treo cabin:

Khi tích hợp thêm mô hình chuyển động cho hệ mô phỏng có nhiều công trình nghiên cứu xoay quanh kiểu cấu trúc tương tự này như các công trình [9,11,12,13] nghiên cứu về động học ngược, thuận dạng ba piston, công trình [11] nghiên cứu về điều khiển động lực học. Tuy nhiên, chỉ có các công trình [12,13] nghiên cứu cấu trúc giống với cấu trúc của đề tài đề xuất. Các công trình này đều cho phép tính toán gần đúng góc quay động cơ servo α_i do đó khi dao động của mặt sàn treo mô phỏng khoảng $\pm 15^\circ$, gần giống thực tế chuyển động của một con tàu thì sai số đến 5%. Điều này làm giảm tính chính xác trong mô phỏng chuyển động tàu thủy.

1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước

Hiện nay ở Việt Nam có 2 trường Đại học đào tạo về khoa học hàng hải đó là trường Đại học Hàng hải Việt Nam và trường Đại học Giao thông vận tải Hồ Chí Minh. Một số công bố về hệ thống lái mô phỏng của các nhóm nghiên cứu đó là các công trình [5],[6], [8].

Trong công trình [1] tác giả đã nghiên cứu từ vòng quay trở của con tàu tính ra hệ số K-T, nhằm mô phỏng chuyển động con tàu áp dụng mô hình tàu dạng NOMOTO một bậc tự do.

Công trình [2] tác giả đã nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật tự động tự động hoá và vi xử lý cho hệ thống lái tàu thủy dung cho các con tàu đóng tại Việt Nam. Tuy nhiên, công trình này khi nghiên cứu chỉ đề cập tới vấn đề điều khiển ổn định hướng đi và áp dụng mô hình tàu dạng NOMOTO một bậc tự do.

Công trình [3] nhóm tác giả đã nghiên cứu kiến trúc hướng mô hình kết hợp với kết hợp Real Time UML/MARTE trong thiết kế hệ thống điều khiển cho phương tiện không người lái tự hành trên mặt nước không phải là tàu thủy có người lái và không phải là đối tượng thiếu cơ cấu chấp hành.

Trong công trình [4] đã nghiên cứu ứng dụng lý thuyết hiện đại vào điều khiển lái tàu, sử dụng lý thuyết điều khiển thích nghi, trượt, Backstepping và mạng nơron để điều khiển bám quỹ đạo cho tàu nổi có đủ cơ cấu chấp hành với mô hình toán 3 bậc tự do. Trong công trình này, tác giả đã tập hợp các nhiễu bất định vào một véc tơ và dùng mạng Nơron để nhận dạng nhiễu bất định.

Công trình [5] [6] đã nghiên cứu xây dựng được thuật toán các bộ điều khiển dự báo MPC trên cơ sở tuyến tính hoá từng đoạn mô hình phi tuyến cho đối tượng tàu thủy có mô hình toán dạng thiếu cơ cấu chấp hành khi mô hình tàu xác định và mô hình tàu có chứa thành phần bất định và chứng minh được bộ điều khiển đề xuất là ổn định. Điểm mới của thuật toán này là sử dụng nguyên lý điều khiển MPC tuyến tính để điều khiển đối tượng phi tuyến dọc theo trục thời gian. Ưu điểm của bộ điều khiển này là số lệnh tính toán ít, thời gian tính toán nhanh, giải quyết bài toán tối ưu đơn giản. Đã nghiên cứu và xây dựng được bộ quan sát trạng thái mới theo phương pháp quan sát trực tiếp từ mô hình liên tục tàu thủy ba bậc tự do trên mặt phẳng ngang với giả thiết là không nhiễu đo. Đã nghiên cứu và xây dựng được phương pháp ước lượng và bù thành phần bất định mới (phương pháp xấp xỉ thành phần bất định dựa trên cơ sở tối ưu hoá sai lệch so với mô hình mẫu) để giải quyết bài toán điều khiển chuyển động tàu thủy khi mô hình có chứa thành phần bất định. Xây dựng được mô hình thực nghiệm theo phương pháp HIL để kiểm nghiệm chất lượng bộ điều khiển đề xuất. Những vấn đề còn còn bỏ ngỏ, chưa giải quyết được đó là chưa đưa ra được nguyên tắc chọn hai ma trận đối xứng xác định dương Q, R ở bước khởi tạo ban đầu trong các lưu đồ thuật toán một cách tốt nhất; bộ điều khiển chưa được thử nghiệm trong môi trường thực trên tàu biển.

Công trình [7] đã đề xuất cấu trúc điều khiển tối ưu bám quỹ đạo cho hệ lái tàu thủy dựa trên giải thuật ADP với cấu trúc điều khiển là AC-NNs, critic NN dùng để xấp xỉ hàm chi phí tối ưu và actor NN xấp xỉ luật điều khiển tối ưu. Bộ điều khiển tối ưu kết hợp với các bộ ước lượng nhiễu cho hệ lái tàu thủy, có khả năng bù được những thành phần bất định trong mô hình tàu và nhiễu môi trường bên ngoài đảm bảo cho tàu bám quỹ đạo trước và ổn định. Mặt khác, công trình cũng đề xuất một phương pháp xác định hàm kích hoạt cho AC-NNs dựa trên lời giải của một trường hợp đặc biệt trong bài toán điều kiện tối ưu. Tính ổn định của hệ thống được phát biểu thông qua định lý và chứng minh chặt chẽ về mặt phương pháp luận, mô phỏng kiểm chứng trên phần mềm Matlab. Công trình đã đề xuất cấu trúc điều khiển tối ưu bền vững bám quỹ đạo của hệ lái tàu thủy dựa trên giải thuật ADP với thuật toán off-policy IRL. Giải thuật ADP sử dụng ba NN để xấp xỉ hàm chi phí tối ưu luật điều khiển tối ưu và luật nhiễu xấu nhất, luật cập nhật của trọng số của các NN cũng được thiết kế, cập nhật đồng thời liên tục trong cùng một bước lặp. Bộ điều khiển được đề xuất trong công trình không yêu cầu thông tin động học của hệ thống, đảm bảo tàu bám quỹ đạo đặt trước và ổn định. Công

trình đã phát biểu và chứng minh một định lý về tính chất hội tụ của thông số và giá trị cận tối ưu khi áp dụng thuật toán off-policy IRL, mô phỏng kiểm chứng trên phần mềm Matlab.

Tuy nhiên, công trình chỉ mới tập trung nghiên cứu ứng dụng NN tuyến tính vào phương pháp quy hoạch động thích nghi, NN tuyến tính tuy phù hợp với toán học chặt chẽ nhưng khả năng xấp xỉ hàm yếu, cùng với vấn đề bùng nổ kích thước NN khi số lượng đầu vào mạng tăng. Công trình chưa được triển khai, kiểm chứng chất lượng bộ điều khiển ở trên môi trường thực và trên các mô hình tàu khác nhau và chưa phát triển thành những sản phẩm thương mại có ứng dụng cao trong thực tế.

Có một điểm chung là các công trình [1,2,3,4,7] cũng tập trung vào nghiên cứu mô phỏng hàng hải, tuy nhiên kết quả của các công trình này mới chỉ dừng lại ở trên mô phỏng thời gian thực để lấy đáp ứng 2D của con tàu với các tác dụng thủy động lực học của các nhiễu môi trường hoặc lý thuyết, ngôn ngữ của các phần mềm đều sử dụng Matlab/Simulink.

1.2.3 Hướng nghiên cứu của luận án

Từ việc đánh giá kết quả của các công trình nghiên cứu ở trong nước và nước ngoài NCS nhận thấy có 3 xu thế nghiên cứu trong mô phỏng chuyển động tàu thủy bao gồm:

Một là nghiên cứu mô phỏng đầy đủ trên cơ sở Matlab phục vụ cho phân tích các đặc tính đáp ứng, cho nhiệm vụ thiết kế các bộ điều khiển cũng như phục vụ cho các công tác phân tích điều động và tránh va;

Hai là nghiên cứu mô phỏng chuyển động tàu thủy trong không gian 3D phục vụ cho công tác huấn luyện hàng hải;

Ba là nghiên cứu mô phỏng chuyển động tàu thủy có tích hợp mô hình sà lan treo với các giải pháp nâng cao chất lượng điều khiển. Để đáp ứng được chất lượng về mặt thời gian thực (realtime) đã có nhóm các công trình đề xuất phương án giải quyết bằng phương án lấy tín hiệu điều khiển cho đầu vào điều khiển cơ cấu chấp hành là lực hoặc mô men từ phương tiện giao thông vận tải. Như vậy, tín hiệu đầu vào là lực hoặc mô men sẽ cung cấp cho hai mô hình song song là mô hình được tạo ra từ phần mềm mô phỏng 3D để tạo ra hình ảnh chuyển động và mô hình động lực học của con tàu trong bộ điều khiển các chuyển động song song nhằm tạo ra các chuyển động tự do của sà lan treo.

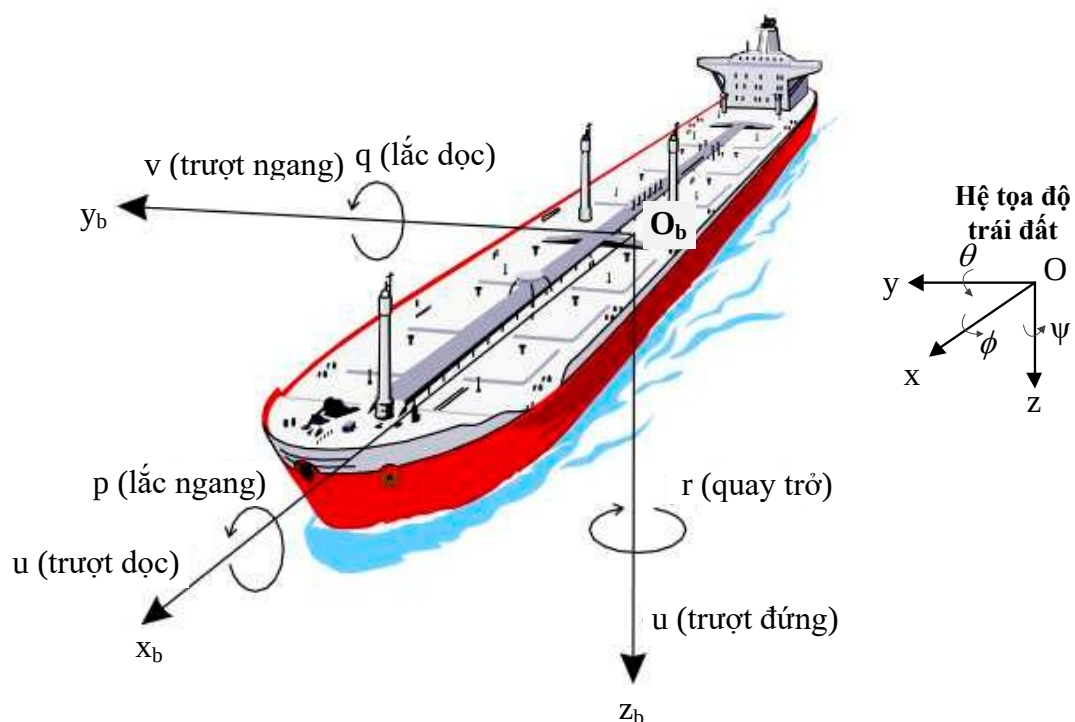
Phương án này kết hợp với các bộ điều khiển PID, Fuzzy, LQR hoặc mạng nơron đã khắc phục phần nào được độ trễ đồng bộ nhưng lại không kiểm soát được độ chính xác. Mặt khác, cũng có các công trình chứng minh được tính chính xác trong điều khiển bám của chuyển động sàn treo với chuyển động của mô phỏng 3D nhưng lại xuất hiện thời gian trễ pha lên tới 1200ms.

Từ đó, hướng luận án sẽ tập trung vào việc xây dựng cách tính chính xác góc quay α_i của động cơ servo trong mô hình sàn treo sao cho mô hình điều khiển chuyển động của sàn đồng bộ và bám theo với chuyển động của mô phỏng 3D với thời gian trễ nhỏ nhất mà không giảm đi độ chính xác. Định hướng nghiên cứu là sử dụng thuật toán điều khiển hiện đại giải quyết vấn đề tồn tại trên, đồng thời tiến hành các mô phỏng dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson, cũng như bằng mô hình vật lý để đánh giá và kiểm chứng sai số.

1.3 Mô hình toán học mô tả chuyển động tàu thủy dạng không gian trạng thái

Môi trường phần mềm 3D để mô phỏng chuyển động tàu thủy chỉ cho chúng ta các công cụ lập trình cũng như các model riêng rẽ như con tàu, sóng, gió, dòng chảy... Như vậy, để mô phỏng được chính xác chuyển động tàu thủy trong không gian 3D chúng ta cần có các phương trình toán học mô tả đầy đủ động lực học của đối tượng con tàu, từ đó đưa các phương trình này vào model con tàu mới tạo ra các tương tác vật lý như trên thực tế. Do đó, trong mục này NCS sẽ tổng hợp lại mô hình toán học mô tả chuyển động của con tàu dưới dạng không gian trạng thái.

Tàu thủy là đối tượng hoạt động dưới nước, môi trường hoạt động phức tạp, chịu sự tác động của các yếu tố ngẫu nhiên, như: sóng, gió, dòng chảy. Động lực học tàu thủy được áp dụng bởi định luật Newton trong đó coi tàu thủy như một chất rắn chuyển động trong môi trường chất lỏng và chuyển động của tàu thủy có 6 bậc tự do DOF (*Degree of Freedom*) [32, 33]. Các thành phần chuyển động theo hình 1.13 bao gồm: Trượt dọc, trượt ngang, trượt đứng, lắc ngang, lắc dọc, lệch hướng đi [34,35].



Hình 1.13 Thành phần chuyển động, tham số động học của chuyển động tàu thủy

Các thành phần chuyển động và tham số động học mô tả chi tiết theo bảng 1.1.

Bảng 1.1. Thành phần chuyển động và tham số động học của tàu thủy [32, 36]

TT	Chuyển động chính	Tham số động học			
		Vị trí		Tốc độ	
		Tên gọi	Ký hiệu	Tên gọi	Ký hiệu
1	Trượt dọc - Surge (Chuyển động theo trục X)	Sự dịch chuyển theo chiều dọc	x_0	Tốc độ dịch chuyển theo chiều dọc	u
2	Trượt đứng - Heave (Chuyển động theo trục Z)	Sự dịch chuyển thẳng đứng	z_0	Tốc độ dịch chuyển thẳng đứng	w
3	Trượt ngang - Sway (Chuyển động theo trục Y)	Sự lệch ngang	y_0	Tốc độ dịch chuyển ngang	v
4	Lắc ngang - Roll (Quanh trục X)	Góc nghiêng	ϕ	Vận tốc góc của lắc ngang	p

TT	Chuyển động chính	Tham số động học			
		Vị trí		Tốc độ	
		Tên gọi	Ký hiệu	Tên gọi	Ký hiệu
5	Lắc dọc - Pitch (Quanh trục Y)	Góc chênh	θ	Vận tốc góc lắc dọc	q
6	Quay trở - Yaw (Quanh trục Z)	Góc đảo lái	ψ	Vận tốc góc quay trở	r

Trong đó: Oxyz - Hệ tọa độ trái đất (hệ qui chiếu quán tính - Inertial Frame);

$O_b x_b y_b z_b$ - Hệ tọa độ gắn với vị trí tàu trong đó trọng tâm của tàu trùng với gốc tọa độ O (hệ tọa độ Body - Fixed Frame).

1.3.1 Phương trình toán mô tả chuyển động tàu thủy với 6 bậc tự do.

Chuyển động cân bằng tàu thủy ở mọi vị trí được thể hiện theo (1.1) [32].

$$M_{RB} \dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau_{RB} \quad (1.1)$$

Trong đó:

η - Vector vị trí, để định hướng với hệ qui chiếu trái đất (n-frame) và được xác định gồm các thành phần như sau:

$$\eta = \begin{bmatrix} \eta_1^T, \eta_2^T \end{bmatrix}^T, \quad \eta_1 = [x, y, x]^T \quad \eta_2 = [\phi, \theta, \psi]^T$$

v - Vector vận tốc hướng, vận tốc góc trong hệ tọa độ cố định (body fix), được xác định bằng:

$$v = \begin{bmatrix} v_1^T, v_2^T \end{bmatrix}^T, \quad v_1 = [u, v, w]^T, \quad v_2 = [p, q, r]^T$$

Mối quan hệ giữa v và η [50] được mô tả theo (1.2):

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (1.2)$$

Trong đó: $J(\eta)$ - Ma trận biến đổi phụ thuộc vào các góc Euler (ϕ, θ, ψ) và có dạng [27].

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} J_1(\phi, \theta, \psi) & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & J_2(\phi, \theta, \psi) \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

với

$$J_1(\phi, \theta, \psi) = \begin{bmatrix} c(\psi)c(\theta) & -s(\psi)c(\phi) + c(\psi)s(\theta)s(\phi) & s(\psi)s(\phi) + c(\psi)c(\phi)s(\theta) \\ s(\psi)c(\theta) & c(\psi)c(\phi) + s(\phi)s(\theta)s(\psi) & -c(\psi)s(\phi) + s(\psi)c(\phi)s(\theta) \\ -s(\theta) & s(\phi)c(\theta) & c(\phi)c(\theta) \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

$$\text{và } J_2(\phi, \theta, \psi) = \begin{bmatrix} 1 & -s(\phi)t(\theta) & c(\phi)t(\theta) \\ 0 & c(\phi) & -s(\phi) \\ 0 & s(\phi)/c(\theta) & c(\phi)/c(\theta) \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Trong đó: $s(\cdot) = \sin(\cdot)$, $c(\cdot) = \cos(\cdot)$ và $t(\cdot) = \tan(\cdot)$

Trong đó: M_{RB} - Ma trận quán tính do bản thân tàu sinh ra (coi động lực học tàu thủy như là động lực học của chất rắn), được tính theo công thức (1.6) [32].

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ mz_G & 0 & -mx_G & -I_{yx} & I_y & -I_{yz} \\ -my_G & mx_G & 0 & -I_{zx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Trong đó: m - Khối lượng của tàu;

I_{xx} , I_{zz} - Mômen quán tính về các trục x_0 và z_0 ;

x_G , y_G , z_G - Tọa độ trọng tâm của tàu;

u , v - Tốc độ và độ dạt ngang của tàu.

Trong đó: $C_{RB}(v)$ - Ma trận Coriolis hướng tâm, đặc trưng cho thủy động lực học chất rắn và được xác định theo (1.8) [27].

$$C_{RB}(v) = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 3} & -m\mathbf{S}(v_1) - m\mathbf{S}(v_2)\mathbf{S}(r_G) \\ -m\mathbf{S}(v_1) + m\mathbf{S}(r_G)\mathbf{S}(v_2) & -m\mathbf{S}(I_0 v_2) \end{bmatrix}$$

$$C_{RB}(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -m(y_G q + z_G r) & m(y_G p + w) & m(z_G p - v) \\ m(x_G q - w) & -m(z_G r + x_G p) & m(z_G q + u) \\ m(x_G r + v) & m(y_G r - u) & -m(x_G p + y_G q) \\ m(y_G q + z_G r) & -m(x_G q - w) & -m(x_G r + v) \\ -m(y_G p + w) & m(z_G r + x_G p) & -m(y_G r - u) \\ -m(z_G p - v) & -m(z_G q + u) & m(x_G p + y_G q) \\ 0 & -l_y q - l_x p + l_z r & l_y r + l_{xy} p - l_y q \\ l_{yz} q + l_{xz} p - l_z r & 0 & -l_{xz} r - l_{xy} q + l_x p \\ -l_y z - l_{xy} p + l_y q & l_{xz} r + l_{xy} q - l_x p & 0 \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

Trong đó: τ_{RB} là véc tơ tổng hợp lực và mômen bên ngoài tác động vào con tàu:

$$\underline{\tau}_{RB} = \begin{bmatrix} X & Y & Z & K & M & N \end{bmatrix}^T$$

Từ đó, ta có một dạng khác của phương trình lực và mômen mô tả chuyển động tàu thủy với 6 bậc tự do:

$$\begin{aligned} m[\ddot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr - \dot{q})] &= X \\ m[\ddot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(pr - \dot{p}) + x_G(qp - \dot{r})] &= Y \\ m[\ddot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq - \dot{p})] &= Z \\ I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr - (\dot{r} + pq)I_{xz} + (r^2 - q^2)I_{yz} + (pr - \dot{q})I_{xy} \\ + m[y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] &= K \\ I_x \dot{q} + (I_x - I_z)rp - (\dot{p} + qr)I_{xy} + (p^2 - r^2)I_{zx} + (qp - \dot{r})I_{yz} \\ + m[z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp)] &= M \\ I_x \dot{r} + (I_y - I_x)pq - (\dot{q} + rp)I_{yz} + (q^2 - p^2)I_{xy} + (rq - \dot{p})I_{zx} \\ + m[x_G(\dot{v} - wp + ur) - yz_G(\dot{u} - vr + wq)] &= N \end{aligned} \quad (1.8)$$

Ngoài ra, τ_{RB} còn có thể viết dưới dạng: $\underline{\tau}_{RB} = \tau - g(\eta)$

Trong đó: $g(\eta)$ là lực và mômen này sinh ra do trọng lực và tính nổi của tàu dưới tác động của nước lên thân tàu. Lực do trọng lực và tính nổi sẽ tác động vào trọng tâm của tàu và được xác định theo (1.9) [37].

$$g(\eta) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\overline{\overline{BG}}_y W \cos \theta \cos \psi + \overline{\overline{BG}}_z W \cos \theta \sin \psi \\ -\overline{\overline{BG}}_z W \sin \theta + \overline{\overline{BG}}_x W \cos \theta \cos \psi \\ -\overline{\overline{BG}}_x W \cos \theta \sin \psi - \overline{\overline{BG}}_y W \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

Trong đó: $W = m \cdot g$, $BG = \left[\overline{\overline{BG}}_x, \overline{\overline{BG}}_y, \overline{\overline{BG}}_z \right]^T = [x_g - x_b, y_g - y_b, z_g - z_b]^T$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$: Gia tốc trọng trường

Ngoài ra, thành phần $\underline{\tau}$ là véc tơ tổng hợp lực và mômen bên ngoài tác động vào con tàu không bao gồm lực và mômen nổi và được xác định theo công thức sau [33].

$$\underline{\tau} = \underline{\tau}_{hyd} + \underline{\tau}_{cs} + \underline{\tau}_{prop} + \underline{\tau}_{ext} \quad (1.10)$$

Thành phần này sẽ được phân tích chi tiết trong mục 1.3.2 dưới đây.

1.3.2 Phân tích vector tổng hợp lực và mômen bên ngoài tác động vào con tàu (không bao gồm lực và mômen nổi)

Theo [33], τ được xác định gồm các thành phần theo công thức như sau:

$$\underline{\tau} = \underline{\tau}_{hyd} + \underline{\tau}_{cs} + \underline{\tau}_{prop} + \underline{\tau}_{ext};$$

Trong đó: $\underline{\tau}_{hyd}$ - Lực và mômen thủy động lực học sinh ra do chuyển động giữa thân tàu với nước;

$\underline{\tau}_{cs}$ - Lực và mômen tạo do tác động của bánh lái, bánh lái phụ trợ (Fin);

$\underline{\tau}_{prop}$ - Lực và mômen tạo ra do tác động của các lực đẩy của chân vịt chính, chân vịt mũi, lái;

$\underline{\tau}_{ext}$ - Lực và mômen tạo ra do tác động của nhiễu loạn môi trường: sóng, gió, dòng chảy.

Các thành phần lực này cần được phân tích chi tiết và tìm ra phương trình toán cụ thể.

a. Lực và mômen thủy động lực học sinh ra do chuyển động giữa thân tàu với nước

Theo Faltinsen (1990, được trích dẫn trong [24] của tác giả Fossen) khi tàu thủy chuyển động trên môi trường biển sẽ chịu tác động của lực và mômen thủy động lực

học bao gồm: lực cảm ứng bức xạ và lực do ma sát bề mặt với nước, độ trôi, độ xoay của nước có công thức như sau:

$$\underline{\tau}_{hyd} = \underline{\tau}_R + \underline{\tau}_D \quad (1.11)$$

Thành phần thứ nhất, xét lực và mômen cảm ứng bức xạ (ký hiệu là $\underline{\tau}_R$) bao gồm các thành phần sau:

- Thành phần do khối lượng nước kèm (*added mass*) và do quán tính chất lỏng xung quanh thân tàu gây ra được đặc trưng bởi ma trận $M_A, C_A(\underline{v})$.

- Sự suy giảm thế năng do năng lượng bị mất đi bởi sóng biển, được đặc trưng bởi ma trận $D_p(\underline{v})$.

Các thành phần này tạo thành lực và mômen ký hiệu là τ_R được tính như sau:

$$\underline{\tau}_R = -M_A \dot{\underline{v}} - C_A(\underline{v})\underline{v} - D_p(\underline{v})\underline{v} \quad (1.12)$$

Trong đó:

M_A - ma trận quán tính của khối lượng nước kèm,

$C_A(\underline{v})$ - ma trận coriolis và hướng tâm thủy động lực học,

$D_p(\underline{v})$ - ma trận giảm chấn thủy động lực học.

M_A - Ma trận quán tính gia tăng khối lượng (Added mass), được tạo ra bởi lực và mômen do quán tính xung quanh nước. Xung quanh chất lỏng luôn có sự chuyển động, lực tác động này tỷ lệ với tốc độ của tàu. Giá trị M_A được xác định theo (1.13) [27].

$$M_A = - \begin{bmatrix} X_{\ddot{u}} & X_{\ddot{v}} & X_{\ddot{w}} & X_{\ddot{p}} & X_{\ddot{q}} & X_{\ddot{r}} \\ Y_{\ddot{u}} & Y_{\ddot{v}} & Y_{\ddot{w}} & Y_{\ddot{p}} & Y_{\ddot{q}} & Y_{\ddot{r}} \\ Z_{\ddot{u}} & Z_{\ddot{v}} & Z_{\ddot{w}} & Z_{\ddot{p}} & Z_{\ddot{q}} & Z_{\ddot{r}} \\ K_{\ddot{u}} & K_{\ddot{v}} & K_{\ddot{w}} & K_{\ddot{p}} & K_{\ddot{q}} & K_{\ddot{r}} \\ M_{\ddot{u}} & M_{\ddot{v}} & M_{\ddot{w}} & M_{\ddot{p}} & M_{\ddot{q}} & M_{\ddot{r}} \\ N_{\ddot{u}} & N_{\ddot{v}} & N_{\ddot{w}} & N_{\ddot{p}} & N_{\ddot{q}} & N_{\ddot{r}} \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

$$\text{Trong đó: } X_{\ddot{u}} = \frac{\partial X}{\partial \ddot{u}}$$

$C_A(\underline{v})$ - Ma trận Coriolis tạo ra bởi sự tăng thêm về khối lượng, do tác động của lực và mômen quán tính chất lỏng, được xác định theo (1.14) [32].

$$C_A(\underline{v}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_{\dot{w}}w & Y_{\dot{v}}v \\ 0 & 0 & 0 & Z_{\dot{w}}w & 0 & -X_{\dot{u}}u \\ 0 & 0 & 0 & -Y_{\dot{v}}v & X_{\dot{u}}u & 0 \\ 0 & -Z_{\dot{w}}w & Y_{\dot{v}}v & 0 & -N_{\dot{r}}r & M_{\dot{q}}q \\ Z_{\dot{w}}w & 0 & -X_{\dot{u}}u & N_{\dot{r}}r & 0 & -K_{\dot{p}}p \\ -Y_{\dot{v}}v & X_{\dot{u}}u & 0 & -M_{\dot{q}}q & K_{\dot{p}}p & 0 \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

Ma trận dao động do quán tính lắc - $D(v)$: Thủy động lực học của dao động lắc gây ra bởi quán tính chất lỏng, phụ thuộc chủ yếu vào: Ma sát giữa nước và thân tàu, sự trôi và xoáy của nước và được xác theo (1.13) [37].

$$D(v) = \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_U & 0 & 0 \\ 0 & Y_V & Y_r \\ 0 & N_V & N_r \end{bmatrix} \quad (1.15)$$

Thành phần thứ hai, xét lực do ma sát bề mặt với nước, độ trôi, xoáy của nước (ký hiệu là $\underline{\tau}_D$) như sau: Ngoài các giảm chấn do cảm ứng bức xạ nêu trên, phải tính đến các hiệu ứng giảm chấn khác như ma sát bề mặt ký hiệu là $D_S(\underline{v})$, giảm chấn do độ trôi của sóng ký hiệu là $D_W(\underline{v})$ và giảm chấn do bong bóng xoáy của nước ký hiệu là $D_M(\underline{v})$, do đó lực do ma sát bề mặt với nước, độ trôi, xoáy của nước được tính như [24]:

$$\underline{\tau}_D = -D_S(\underline{v})\underline{v} - D_W(\underline{v})\underline{v} - D_M(\underline{v})\underline{v} \quad (1.16)$$

Từ (1.12), (1.16) $\underline{\tau}_{hyd} = -M_A\dot{v} - C_A(v)v - D(v)v$ với

ma trận giảm chấn thủy động lực học được xác định là tổng của các thành phần sau:

$$D(\underline{v}) = D_P(\underline{v}) + D_S(\underline{v}) + D_W(\underline{v}) + D_M(\underline{v}) \quad (1.17)$$

Nói chung ma trận giảm chấn thủy động lực học $D(\underline{v})$ của tàu biển chủ yếu là do các giảm chấn thể năng, ma sát bên ngoài, giảm chấn ma sát với sóng và giảm chấn do bong bóng xoáy. Nhưng thật khó để đưa ra một biểu thức chung của ma trận giảm chấn thủy động lực học $D(\underline{v})$. Tuy nhiên, có thể coi ma trận giảm chấn thủy động lực học $D(\underline{v})$ gồm hai thành phần tuyến tính và phi tuyến, như (1.18):

$$D(\underline{v}) = D + D_n(\underline{v}) \quad (1.18)$$

Trong đó:

D - thành phần giảm chấn tuyến tính thủy động lực học,

$D_n(\underline{v})$ - thành phần giảm chấn phi tuyến thủy động lực học.

b. Lực và mô men do bánh lái, bánh lái phụ trợ tạo ra

Với những con tàu như tàu hàng, tàu container hoặc lớp tàu TT400 đều có cấu hình chân vịt và bánh lái, nên mômen sinh ra do tác động của bánh lái tính theo (1.19) như sau:

$$\underline{\tau}_{cs} = \begin{bmatrix} K_{rud} & M_{rud} & N_{rud} \end{bmatrix}^T = (\overline{CP} - \overline{CG}) \cdot \begin{bmatrix} X_{rud} & Y_{rud} & Z_{rud} \end{bmatrix}^T \quad (1.19)$$

Trong đó: $\overline{CG} = [X_G, Y_G, Z_G]^T$ - Toạ độ trọng tâm tàu;

$\overline{CP} = [X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP}]^T$ - Toạ độ trọng tâm của lực tác động lên bánh lái trong hệ toạ độ cố định. Lực do tác động của bánh lái theo biểu thức (1.19) được tính theo (1.20) [37] như sau:

$$\begin{aligned} X_{rud} &= -F(u, V_{av}, v, r, \delta) \sin(\delta) \\ Y_{rud} &= F(u, V_{av}, v, r, \delta) \cos(\delta) \\ Z_{rud} &= 0 \end{aligned} \quad (1.20)$$

$$\text{Trong đó: } F = \frac{1}{2} \rho C_F A_r V_{av}^2 \sin(\delta_{attack}) \quad (1.21)$$

C_F - Hệ số nâng, A_r - Diện tích bánh lái, V_{av} - Vận tốc dòng chảy tác động lên bánh lái, δ_{attack} - Góc tương đối giữa bánh lái và dòng chảy.

c. Lực và mômen tạo ra do tác động của lực đẩy của chân vịt chính, chân vịt mũi/lái

Lực và mômen do tác động của cơ cấu đẩy có thể được coi gồm các thành phần sau:

$$\tau_{prop} = B_1 u - B_2(u) v \quad (1.22)$$

Trong đó: B_1, B_2 là hai ma trận hệ số, tỷ lệ với kích thước của cơ cấu đẩy (chân vịt), u là tín hiệu điều khiển mới, được định nghĩa như sau:

$$u_i = |n_i| \quad n(i = 1 \dots p)$$

Trong đó, n là tốc độ quay của chân vịt.

d. Lực và mômen tạo ra do tác động của nhiễu loạn môi trường

Lực và mômen tạo ra do tác động của nhiễu loạn môi trường bao gồm sóng, gió, dòng chảy: $\tau_{ext} = \tau_{wind} + \tau_{wave} + \tau_{current}$ sẽ được trình bày cụ thể chi tiết tại mục 1.4 dưới đây.

1.4 Lực và mômen do tác động của nhiễu loạn môi trường

Khi hoạt động trong môi trường đại dương, tàu thủy chịu tác động lớn từ gió, sóng và dòng chảy đại dương. Vì vậy, trong mục này luận án sẽ tìm hiểu về mô hình của

các thành phần tác động này đến tàu thủy và tìm ra phương trình toán của nó. Đối với hầu hết những ứng dụng thiết kế hệ thống mô phỏng hoặc điều khiển tàu thủy, khi xem xét nhiễu loạn của sóng và gió thường áp dụng nguyên tắc xếp chồng. Nói chung, những nhiễu loạn môi trường có độ phi tuyến cao và cả hai được cộng và nhân với phương trình động học của chuyển động [32].

Nguyên tắc xếp chồng giả thiết rằng nhiễu loạn gồm sóng và gió được cộng vào vế phải của (1.23) bằng định nghĩa:

$$\underline{I}_{ext} = \underline{I}_{wind} + \underline{I}_{wave} + \underline{I}_{curent} \quad (1.23)$$

Các thành phần lực trong 1.23 sẽ được phân tích chi tiết trong các mục dưới đây.

1.4.1 Lực và mô men của dòng chảy tạo ra

Vectơ lực và momen cảm ứng dòng chảy được đưa ra như sau [32]:

$$\underline{I}_{curent} = (\underline{M}_{RB} + \underline{M}_A) \underline{v}_c + \underline{C}(\underline{v}_r) \underline{v}_r - \underline{C}(\underline{v}) \underline{v} + \underline{D}(\underline{v}_r) \underline{v}_r - \underline{D}(\underline{v}) \underline{v} \quad (1.24)$$

Tác động do dòng chảy đại dương thường được biểu diễn như sau:

$$\underline{v}_r = \underline{v} - \underline{v}_c \quad (1.25)$$

Trong đó $\underline{v}_c \in \mathbb{R}^6$ là véc-tơ vận tốc dòng chảy so với trục tọa độ gắn với thân tàu. Nếu đặt vectơ vận tốc dòng chảy so với trục gắn trái đất là $\underline{v}_c^e$ thì véc-tơ vận tốc dòng chảy gắn thân tàu được biểu diễn như sau:

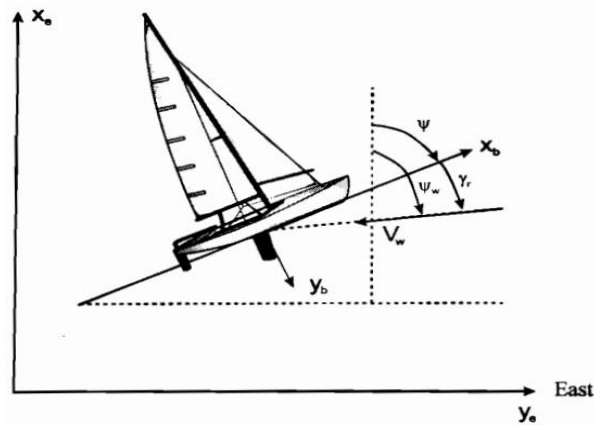
$$\underline{v}_c = \underline{J}(\underline{\eta}) \underline{v}_c^e \quad (1.26)$$

1.4.2 Lực và mô men của gió tạo ra

Đặt V_w và ψ_w là ký hiệu tốc độ và hướng gió hình 1.14, tốc độ gió cục bộ có độ cao $h(m)$ trên bề mặt biển được xác định như sau:

$$V_w(h) = V_w(10) \cdot (h/10)^{1/7} \quad (1.27)$$

Trong đó, $V_w(10)$ là tốc độ gió ở độ cao 10m trên bề mặt biển.



Hình 1.14. Định nghĩa tốc độ gió V_w và hướng γ_r (nguồn [32])

Lực và momen gió tác động lên phương tiện phụ thuộc vào những toán hạng liên quan đến tốc độ gió tương đối V_r và góc tương đối γ_r :

$$V_r = \sqrt{u_r^2 + v_r^2}, \quad \gamma_r = \tan^{-1}(v_r/u_r) = \psi_w - \psi \quad (1.28)$$

$$u_r = V_w \cos(\gamma_r) - u, \quad v_r = V_w \sin(\gamma_r) - v \quad (1.29)$$

Trong đó $\gamma_r = \psi_w - \psi$ là góc tác động của gió so với mũi tàu như hình 1.14.

Tốc độ gió V_w và hướng của nó có thể được đo bằng những máy đo gió. Những thiết bị đo này có thể lọc chính xác và đưa ra giá trị lực và momen gió trung bình, những giá trị này có thể được bù trong các hệ thống lái tự động mô phỏng. Trong thực tế, khi quán tính của tàu là quá lớn không cần thiết để hệ thống điều khiển bù lại cơn gió. Để thực hiện bù gió cho tàu trên mặt biển, việc tìm ra mô hình gió ba bậc tự do như một hàm liên quan đến tốc độ và hướng gió, V_r và γ_r là cần thiết. Vector lực, mômen tổng quát có dạng như 1.28 dưới đây:

$$\tau_{wind} = \begin{bmatrix} X_{wind}, & Y_{wind}, & N_{wind} \end{bmatrix}^T \quad (1.30)$$

Tài liệu [32] trích dẫn lực (theo hướng chuyển động tiến và chuyển động dạt) và mômen (quay hướng) của gió như sau:

$$X_{wind} = \frac{1}{2} C_X(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_T \quad (N) \quad (1.31)$$

$$Y_{wind} = \frac{1}{2} C_Y(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_L \quad (N) \quad (1.32)$$

$$N_{wind} = \frac{1}{2} C_N(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_L L \quad (Nm) \quad (1.33)$$

Trong đó C_X và C_Y là những hệ số lực kinh nghiệm, C_N là một hệ số momen, ρ_a (kg/m^3) là *mật độ không khí*, A_T (m^2) và A_L (m^2) là diện tích ngang và diện tích mặt bên hứng gió, L (m) là chiều dài của toàn bộ con tàu. Chú ý rằng V_r là giá trị tác động vào một điểm. Trong nghiên cứu của Isherwood [32] dữ liệu được phân tích bằng nhiều kỹ thuật hồi quy sử dụng tám thông số sau:

- L là chiều dài toàn bộ;
- B là chiều ngang tàu;
- A_L là diện tích mặt bên;
- A_T là diện tích ngang;
- A_{SS} là diện tích xung quanh của phần trên;

S là chu vi ngang của mô hình, không bao gồm đường nước và những vật thể mỏng như cột buồm và ống thông gió;

C là khoảng cách từ mũi tàu đến trọng tâm của bề mặt xung quanh;

M là số lượng những nhóm cột, trụ chính khác nhau nhìn từ mặt bên, không bao gồm các trụ ngay sát phía trước buồng lái.

$$C_X = A_0 + A_1 \frac{2A_L}{L^2} + A_2 \frac{2A_T}{B^2} + A_3 \frac{L}{B} + A_4 \frac{S}{L} + A_5 \frac{C}{L} + A_6 M \quad (1.34)$$

$$C_Y = -(B_0 + B_1 \frac{2A_L}{L^2} + B_2 \frac{2A_T}{B^2} + B_3 \frac{L}{B} + B_4 \frac{S}{L} + B_5 \frac{C}{L} + B_6 \frac{A_{ss}}{A_L}) \quad (1.35)$$

$$C_N = -(C_0 + C_1 \frac{2A_L}{L^2} + C_2 \frac{2A_T}{B^2} + C_3 \frac{L}{B} + C_4 \frac{S}{L} + C_5 \frac{C}{L}) \quad (1.36)$$

Trong đó A_i và B_i ($i = 0, \dots, 6$) và C_j ($j = 0, \dots, 5$) được tra bảng theo giá trị của γ_r trong tài liệu [32].

1.4.3 Lực và mô men của sóng tạo ra

Quá trình của sóng được tạo ra từ gió bắt đầu với những gợn sóng nhỏ lần lần xuất hiện trên mặt nước, các gợn này kết hợp thành sóng ngắn, những sóng ngắn tiếp tục phát triển cho tới khi chúng bị phá vỡ và năng lượng của chúng bị tiêu tán. Quan sát cho thấy biển động hoặc bão bắt đầu bằng mật độ cao các cơn sóng tạo ra những đỉnh sóng nối tiếp nhau liên tục. Một cơn bão hình thành trong một khoảng thời gian dài gây ra biển động. Sau khi gió ngừng, biển êm, sóng sẽ nhỏ, có bước sóng dài, tạo ra những phổ sóng chậm và thấp. Hiện tượng sóng cồn là sóng từ một cơn bão tương tác với những cơn sóng từ cơn bão khác, tạo thành phổ sóng với hai tần số có thể quan sát được. Ngoài ra, còn có sóng thủy triều là sóng một đỉnh và có tần số thấp.

Có thể thấy rằng phổ sóng rất phức tạp, nhất là trong những trường hợp thời tiết thay đổi nhanh. Có nhiều nghiên cứu về phổ sóng với hàm mật độ phổ $S(\omega)$ được giới thiệu chi tiết trong tài liệu [32]. Lực và momen cảm ứng sóng trên tàu thủy trong vòng kín, được mô phỏng bằng mô hình đáp ứng sóng tuyến tính. Mô hình đáp ứng sóng tuyến tính được thực hiện thông qua việc xấp xỉ tuyến tính của hàm mật độ phổ $S(\omega)$ bằng biểu thức $y(s)$ như sau:

$$y(s) = h(s) \cdot \omega(s) \quad (1.37)$$

Trong đó, $\omega(s)$ là một nhiễu trắng có giá trị trung bình, $h(s)$ là hàm truyền, có biểu thức xác định ứng với các hàm mật độ phổ khác nhau, chi tiết xem trong tài liệu [32]. Hàm truyền phổ sóng được biểu diễn như sau:

$$h(s) = \frac{K_{\omega} s}{s^2 + 2\lambda\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (1.38)$$

Trong đó, K_{ω} là hệ số khuếch đại, có biểu thức:

$$K_{\omega} = 2\lambda\omega_0\sigma \quad (1.39)$$

Với σ là một hằng số miêu tả cường độ sóng, λ là một hệ số suy giảm và ω_0 là tần số sóng trội hơn. Nếu thay thế $s = j\omega$ thu được biểu thức đáp ứng với tần số như sau:

$$h(j\omega) = \frac{j2(\lambda\omega_0\sigma)\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2) + j2\lambda\omega_0\omega} \quad (1.40)$$

$$\Rightarrow |h(j\omega)| = \frac{2(\lambda\omega_0\sigma)\omega}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4(\lambda\omega_0\omega)^2}} \quad (1.41)$$

Đối với tàu thủy ba bậc tự do, lực và moment được biểu diễn ở dạng vector tổng quát như sau:

$$\underline{I}_{waves} = \left[X_{waves}, Y_{waves}, N_{waves} \right]^T \quad (1.42)$$

Trong đó các biểu thức của $X_{waves}, Y_{waves}, N_{waves}$ thu được bằng lý thuyết tuyến tính ứng với hàm truyền (1.38).

$$X_{waves} = \frac{K_{\omega 1} s}{s^2 + 2\lambda_1\omega_{e1}s + \omega_{e1}^2} \omega_1 + d_1 \quad (1.43)$$

$$Y_{waves} = \frac{K_{\omega 2} s}{s^2 + 2\lambda_2\omega_{e2}s + \omega_{e2}^2} \omega_2 + d_2 \quad (1.44)$$

$$N_{waves} = \frac{K_{\omega 3} s}{s^2 + 2\lambda_3\omega_{e3}s + \omega_{e3}^2} \omega_3 + d_3 \quad (1.45)$$

Trong đó, ω_i ($i = 1, 2, 3$) là quá trình nhiễu trắng Gauss. Biên độ của $X_{waves}, Y_{waves}, N_{waves}$ được thay đổi bằng cách chọn hệ số $K_{\omega i}$ ($i = 1, 2, 3$), phổ sóng được tham số hóa bằng hai toán hạng λ_i và ω_{ei} ($i = 1, 2, 3$). Những giá trị này cần được chọn để có thể biểu diễn đúng trạng thái vật lý.

Những lực trôi sóng d_i ($i = 1, 2, 3$) được mô hình hóa như những toán hạng thay đổi chậm (Wiener processes):

$$\dot{d}_1 = \omega_4, \dot{d}_2 = \omega_5, \dot{d}_3 = \omega_6 \quad (1.46)$$

Trong đó ω_i ($i = 4, 5, 6$) là quá trình nhiễu trắng Gauss. Những biểu thức tính lực và momen sóng nên sử dụng những phân tử bão hòa để ngăn d_i khỏi vượt quá giới hạn vật lý lớn nhất $|d_i| \leq d_{i, \max}$.

Nhận xét: Việc xây dựng mô hình toán chuyển động tàu thủy ở dạng mô hình trạng thái cho thấy chuyển động tàu thủy giống như chuyển động của vật rắn trong môi trường chất lỏng với 6 bậc tự do. Những phương trình này là cơ sở cho việc khảo sát và đưa ra bài toán về mô phỏng và điều khiển chuyển động tàu thủy. Mặt khác, để thuận tiện cho việc khảo sát quá trình động học và đưa ra bài toán điều khiển thì chúng ta thường giảm số bậc tự do. Tuy nhiên, trong bài toán mô phỏng 3D chuyển động của tàu thủy thì ta lại cần đầy đủ phương trình của 6 bậc tự do.

1.5 Kết luận chương 1

Trong chương 1, NCS đã tổng quan về các công trình nghiên cứu về mô phỏng hàng hải, đánh giá và phân tích các kết quả của những công trình nghiên cứu trong và ngoài nước. Sau đó xác định khoảng trống nghiên cứu và định hướng nghiên cứu có 3 xu thế nghiên cứu chính trong mô phỏng chuyển động tàu thủy.

Từ đó, hướng luận án sẽ chỉ tập trung vào việc nghiên cứu xây dựng cách tính chính xác góc quay α_i của động cơ servo trong mô hình sàn treo sao cho mô hình điều khiển chuyển động của sàn đồng bộ và bám theo với chuyển động của mô phỏng 3D với thời gian trễ nhỏ nhất mà không giảm đi độ chính xác. Định hướng nghiên cứu là sử dụng thuật toán điều khiển hiện đại giải quyết vấn đề tồn tại trên, đồng thời tiến hành các mô phỏng dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson, cũng như bằng mô hình vật lý để đánh giá và kiểm chứng sai số.

Ngoài ra, để mô phỏng được chính xác chuyển động tàu thủy trong không gian 3D chúng ta cần có các phương trình toán học mô tả đầy đủ động lực học của đối tượng con tàu, từ đó đưa các phương trình này vào con tàu 3D mới tạo ra các tương tác vật lý như trên thực tế. Do đó, chương 1 cũng đề xuất mô hình toán học mô tả chuyển động của con tàu dưới dạng không gian trạng thái 6 bậc tự do, mô hình toán của các yếu tố môi trường như sóng, gió và dòng chảy.

Bên cạnh đó, việc xây dựng mô hình toán chuyển động tàu thủy xét trong mặt phẳng ngang 3 bậc tự do thuận tiện cho việc đưa ra bài toán thiết kế bộ điều khiển lái tự động tàu thủy theo hướng và quỹ đạo của con tàu.

Trên cơ sở các mô hình toán học này, trong chương tiếp theo NCS sẽ nghiên cứu ứng dụng một phần mềm công cụ 3D để chuyển hóa toàn bộ kết quả của các phương trình toán thành chuyển động của con tàu trong môi trường mô phỏng 3D.

CHƯƠNG 2. MÔ PHỎNG CHUYỂN ĐỘNG 3D TÀU THUỶ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN 3 TRỤC TỰ DO CỦA SÀN TREO CABIN

2.1. Phần mềm mô phỏng chuyển động 3D tàu thủy - Unity 3D

Để xây dựng chương trình ứng dụng mô phỏng chuyển động 3D của tàu thủy ta phải sử dụng một phần mềm chuyên dụng trong mô phỏng và xử lý đồ họa 3D (được gọi là Game Engine).

Game Engine được xem là hệ thống cung cấp nguyên liệu xây dựng, trang thiết bị và các phương thức lắp ghép cơ bản vào ngôi nhà của hệ thống mô phỏng 3D hay một trò game. Lập trình viên làm mô phỏng 3D chỉ việc vẽ ra bản thiết kế, tự mình lắp ghép các nguyên liệu, trang trí hay sắp xếp chúng thành một ngôi nhà hoàn chỉnh sau đó viết chương trình lập trình để tạo ra tương tác giữa chúng.

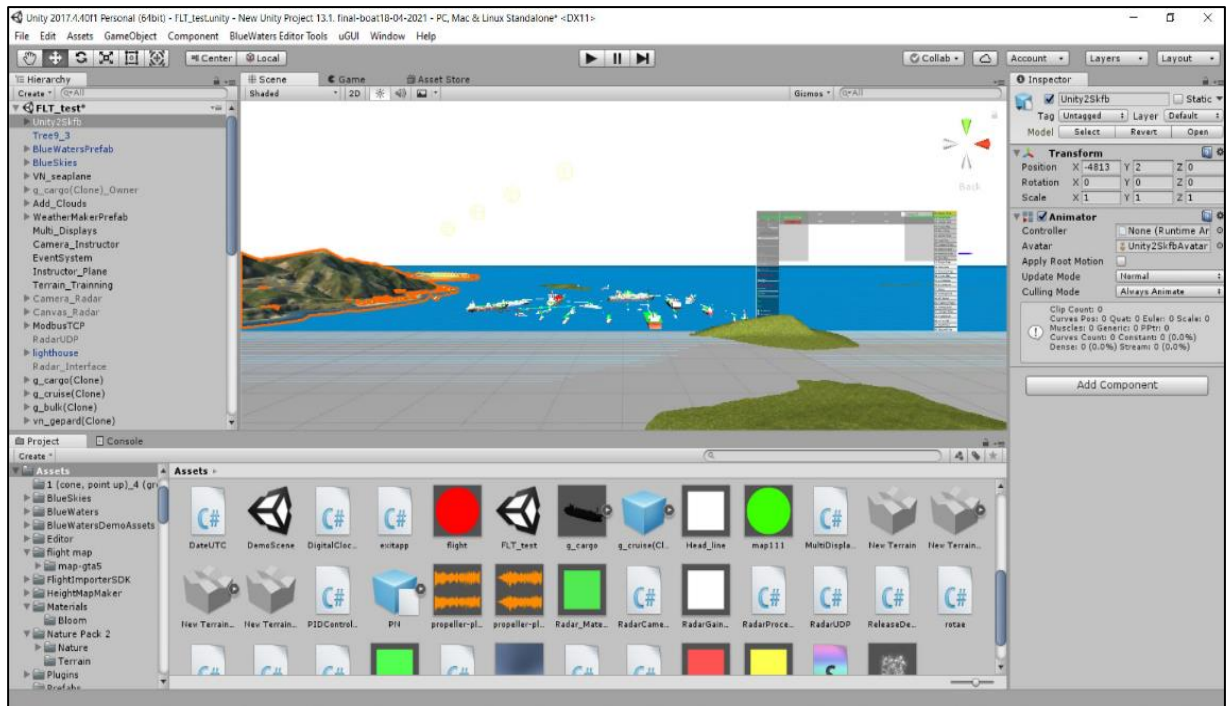
Chức năng chính của Game Engine là cung cấp phương tiện dựng hình cho các hình ảnh 2D hoặc 3D, phương tiện vật lý, âm thanh, mã nguồn, hình ảnh động, trí tuệ nhân tạo, phân luồng, tạo dòng dữ liệu xử lý, quản lý bộ nhớ, dựng ảnh đồ thị và kết nối mạng. Nhờ có các engine này mà công việc xây dựng hệ thống mô phỏng trở thành ít tốn kém và đơn giản hơn. Hiện nay, có rất nhiều các engine nổi tiếng như: Cry Engine, Unreal Engine, Source Engine, Id Tech Engine, IW Engine, Unity Engine, Dead Engine...

Tuy nhiên, trong các engine trên có Unity Engine hay Unity3D được built trong một môi trường phát triển tích hợp, cung cấp một hệ thống toàn diện cho các lập trình viên, từ biên soạn mã nguồn, xây dựng phương tiện tự động hóa đến trình sửa lỗi. Do được hướng đến song song cả lập trình viên không chuyên và studio chuyên nghiệp, nên Unity3D có thể tiếp cận dễ dàng để sử dụng. Chính vì lý do trên mà NCS sẽ lựa chọn Unity Engine hay Unity3D là phần mềm công cụ để xây dựng hệ thống mô phỏng 3D tàu thủy của mình.

Dưới đây, NCS sẽ giới thiệu tóm tắt các bước triển khai Unity3D cho đề tài luận án của mình.

2.1.1 Triển khai hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy trong Unity3D

Để lập trình và xây dựng các nhân tố của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy trong Unity, đầu tiên ta cần phải tạo ra một project sau đó đặt tên. Project được lựa chọn là dạng 3D cho bài toán mô phỏng của luận án. Sau khi tạo được dự án cửa sổ mới sẽ xuất hiện, nơi người lập trình có thể thiết kế, thêm các đối tượng mô phỏng như hình 2.1 dưới đây.



Hình 2.1. Giao diện của Unity3D

Các cửa sổ trong giao diện hình 2.1 bao gồm:

a) Cửa sổ Scene và Hierarchy

Con tàu chủ, các tàu mục tiêu và các đối tượng khác (gọi là Game Object) được xây dựng trong cửa sổ scene, scene cung cấp góc nhìn 3D toàn cảnh và có thể di chuyển góc nhìn dễ dàng (trên, dưới, trái, phải). Cửa sổ Hierarchy liệt kê các thư mục có Game Object trong Scene sắp xếp theo bảng chữ cái.

b) Cửa sổ Inspector

Cửa sổ Inspector có thể dễ dàng tùy chỉnh các thông số kích thước, hình ảnh... và hiển thị đầy đủ các Components của đối tượng. Chúng ta có thể tác động vào Button, Textbox, Dropdown, Menu... trong các biến của Component. Ngoài ra, còn cho phép thêm các công cụ mở rộng như UI extension...

c) Cửa sổ Project

Cửa sổ project chứa nhiều thư mục như Assets, models, script cho phép lưu trữ các đối tượng bên ngoài được thêm vào một dự án.

d) Cửa sổ quan sát realtime (game).

Đây là cửa sổ cho phép người lập trình có thể quan sát và điều khiển quá trình xây dựng một dự án mô phỏng. Người lập trình tùy chỉnh tỉ lệ màn hình thích hợp và chọn nút “play” để chạy thử hệ thống.

2.1.2 Các công cụ cơ bản để chuyển đổi từ phương trình động học thành chuyển động 3D

2.1.2.1 Module công cụ Rigidbody

Rigidbody là bộ phận quan trọng nhất trong engine vật lý để tạo ra tương tác vật lý của con tàu với các đối tượng (object) khác, mỗi đối tượng được tạo ra bởi Unity3D đều được mặc định gắn Component Rigidbody, nếu tạo ra object rỗng để đưa rigidbody vào object trong Unity3D chỉ cần chọn object mình muốn, chọn Components, Physics và Rigidbody. Khi áp dụng Rigidbody lên bất kì vật thể nào, vật thể đó sẽ tự động có những tương tác vật lý mà không cần nhiều dòng code lệnh, Rigidbody sẽ được kéo xuống bởi trọng lực và sẽ va chạm với các vật va chạm vào nó nếu component Collider tồn tại với cả hai object. Công cụ Rigidbody có những thuộc tính sau đây:

- Mass - Khối lượng của vật thể.
- Drag - Thể hiện sức cản không khí sẽ ảnh hưởng đến object thế nào, không nghĩa là hoàn toàn không có sức cản, nếu là vô cùng sẽ khiến cho object ngừng di chuyển.
- Angular Drag - Sức cản không khí khi vật quay, lưu ý là không thể khiến object ngừng quay với angular drag vô cùng.
- Use Gravity - Nếu được check, trọng lực sẽ được áp dụng lên object.
- Is Kinematic - Nếu được check, object sẽ không được điều khiển bởi engine vật lý mà chỉ có thể điều khiển bởi transform.
- Interpolate - Dùng để điều chỉnh sự va chạm, độ va chạm có thể nhảy hơn tùy từng trường hợp.
- Collision Detection - Dùng để ngăn chặn các object di chuyển quá nhanh xuyên qua các object khác mà không bị va chạm, như khi một con tàu di chuyển nhanh quá, và vượt qua tàu khác hoặc đất liền trước khi va chạm được update.

- Ngoài ra, Rigidbody có thể được áp dụng lực trong code với function `AddForce()`, `AddTorque()`... để bổ sung thêm các thành phần lực và mô men lên đối tượng.

2.1.2.2 Module công cụ Colliders

Colliders là công cụ mà engine vật lý sẽ sử dụng để có thể nhận ra sự va chạm, không giống như các lưới “mesh”, chúng cho phép nhận biết được mỗi khi va chạm với nhau. Đa số Collider có hình dạng đơn giản nhằm mục đích tính toán đơn giản và dễ dàng hơn, phần lớn các object trong Unity3D sẽ được gắn collider mỗi khi tạo ra, với Cube là Box Collider, Sphere là Sphere Collider, Cylinder là Capsule Collider. Chúng ta có thể ghép nhiều các collider đơn giản ở trên thành collider phức tạp hơn phù hợp với tuyến hình con tàu.

Ngoài ra, Unity3D cung cấp những hàm API sau đây để phát hiện sự va chạm của các collider:

- `void OnCollisionEnter(Collision collision)` - Chạy 1 lần tại thời điểm va chạm giữa 2 vật.
- `void OnCollisionStay(Collision collision)` - Chạy trong mỗi khung hình tại thời điểm 2 vật còn chạm vào nhau.
- `void OnCollisionExit(Collision collision)` - Chạy tại khung hình cuối cùng khi 2 vật không còn chạm vào nhau nữa. Với class Collision chúng ta có thể lấy ra những thuộc tính như:
 - Contacts - điểm va chạm giữa 2 vật, tính bằng vector3.
 - GameObject - game object va chạm với object gốc.
 - RelativeVelocity - vận tốc tương đối.

Một ví dụ đơn giản để áp dụng những thông tin được API của Unity3D cung cấp, khi nhân vật Assassin rơi từ trên độ cao xuống dưới mặt đất, số lượng sát thương sẽ được áp dụng vào nhân vật Assassin với đoạn code lệnh như sau:

```
void OnCollisionEnter(Collision collision) {
    if (collision.relativeVelocity.magnitude < 10) { //Áp dụng sát thương nếu vận
        tốc thấp.
        Ezio.ApplyDamage(collision.relativeVelocity.magnitude*damagePerVelocity);
    }
    return;
}
```

```

    }
    if (collision.relativeVelocity.magnitude >= 10) {    //Thật đáng tiếc
        Ezio.Kill();
        return;
    }
}

```

Để có thể dùng Trigger trong collider, đơn giản chỉ cần tick vào checkbox As Trigger trong Component Collider ở Inspector. Trong trạng thái này collider sẽ không bị va chạm bởi bất kỳ object nào, nhưng bản thân sẽ được dùng để phát hiện những va chạm trên nó, tạo ra những event có thể điều khiển được trong code lệnh với những hàm sau đây:

- void OnTriggerEnter(Collider other) - Chạy 1 lần tại thời điểm va chạm giữa 2 vật thể.
- void OnTriggerStay(Collider other) - Chạy trong mỗi khung hình tại thời điểm 2 vật thể còn chạm vào nhau.
- void OnTriggerExit(Collider other) - Chạy tại khung hình cuối cùng khi 2 vật thể không còn chạm vào nhau nữa.

Các hàm này sẽ được gọi ra khi một Collider khác va chạm vào Collider có thuộc tính As Trigger, từ Collider có thể lấy ra thông tin về object bị va chạm, cụ thể có thể dùng nó để kiểm tra sự va chạm vào một vật thể mà không áp dụng lại lực tương đương, như ví dụ mỗi khi con tàu va chạm vào các chướng ngại vật khác như tàu mục tiêu, cầu cảng, mắc cạn...

2.2 Ứng dụng phần mềm Unity3D để mô phỏng chuyển động tàu thủy

Khi triển khai ban đầu, hệ thống sẽ cung cấp một module để chúng ta cài đặt mô phỏng phần động lực học chung nhất gần với tàu chủ trên cơ sở phương trình 1.1 ở chương 1. Việc bổ sung và hoàn thiện tất cả các yếu tố mômen, lực sẽ cần xem xét thêm hồ sơ con tàu như: động cơ máy chính, bánh lái, điều kiện môi trường (gió, dòng chảy, thủy triều...). Các tham số này là các yếu tố đầu vào quan trọng sẽ ảnh hưởng đến vị trí, hướng, tốc độ, tốc độ quay và khả năng tăng tốc của tàu. Trong đề tài luận án này, NCS đã thu thập được đầy đủ các thông tin của tàu lớp TT400 của cảnh sát biển Việt Nam phục vụ cho mục đích mô phỏng. Lớp tàu TT400 có chiều dài 55m, chiều rộng 9.2m, mớn nước 2.6m và tải trọng là 429 tấn.

Ngoài ra, tính chất động học của tàu chủ sẽ được tính chỉnh khi dữ liệu thử nghiệm tàu hành trình trên biển hoặc khi dữ liệu yêu cầu được cung cấp chi tiết từ các đơn vị đào tạo huấn luyện.

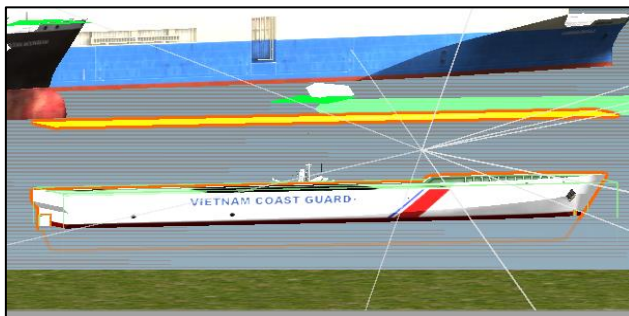
Trong Unity3D, con tàu và nước biển là hai đối tượng riêng biệt, nên khi đặt một vật thể xuống mặt nước vật thể sẽ chìm xuống, như cách ta đặt một khối sắt. Để có thể giải quyết được vấn đề này trong Unity3D. Chúng ta cần phải nắm rõ được một số tác động vật lý cơ bản. Khi vật thể chìm xuống nước, do áp suất chất lỏng nên chất lỏng sẽ tác dụng một lực vào bề mặt vật thể, bề mặt càng lớn thì tiết diện tiếp xúc càng lớn. Đồng thời áp suất nước tăng nên theo độ sâu, vì độ sâu càng lớn càng nhiều nước được ép xuống với trọng lượng lớn.

Để tạo ra tàu chủ mô phỏng trước tiên ta chọn mô hình tàu 3D dưới dạng file .FBX và thêm (add) vào của sổ Project ta được một đối tượng GameObject là con tàu ta cần mô phỏng và đặt tên là Ship_GameObject. Tuy nhiên, đối tượng này chưa có các đặc tính vật lý như phương trình 1.1 ở chương 1, ta cần tạo ra các lực và mô men như ở phương trình (1.1) đó là: $\tau_{RB} = \tau - g(\eta)$.

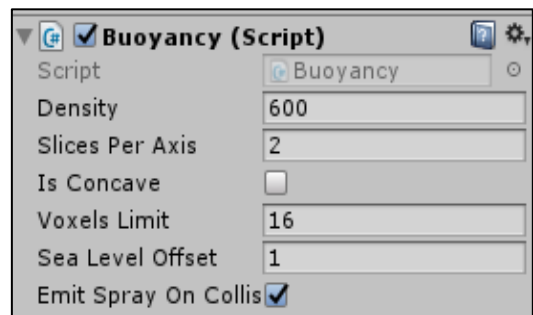
2.2.1 Tạo lực nổi cho tàu thủy

Theo công thức 1.1 lực nổi của tàu $g(\eta)$ bao gồm hai thành phần là trọng lực và lực đẩy Archimedes. Để tạo hai lực này ta thêm thành phần RigidBody vào Ship_GameObject sau đó cài đặt thuộc tính RigidBody.mass bằng trọng lượng của tàu.

Tàu có thể nổi trên mặt nước là nhờ lực đẩy Archimedes, cần thêm một số lực giúp thực hiện điều này thông qua các hàm. Lực này có được từ phương trình (1.9) lý thuyết lực nổi $g(\eta)$ cho con tàu ở trong chương 1, để áp dụng cho đối tượng mô phỏng thì cần phải tính toán tham số và lập trình trên ngôn ngữ C# trong một khối hàm sau đó gán vào đối tượng nghiên cứu.



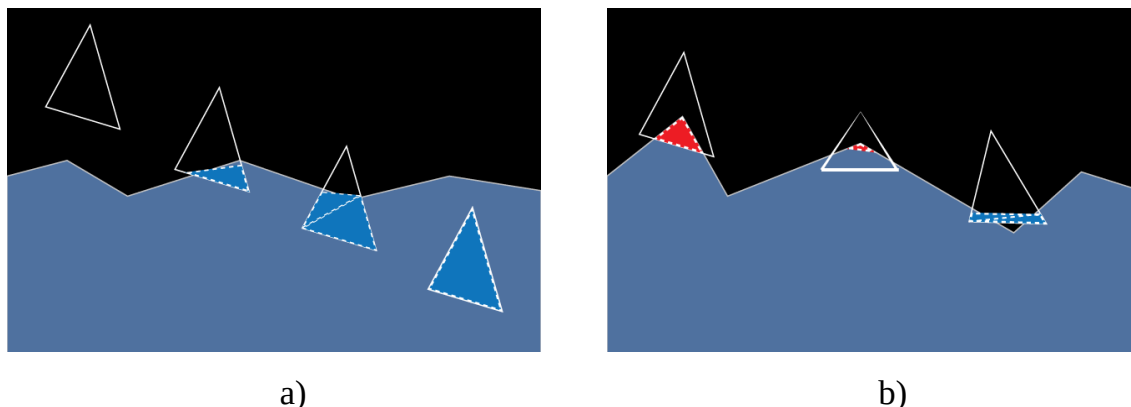
a)



b)

Hình 2.2. Mô hình đối tượng tàu chủ a) và cửa sổ cài đặt lực nổi cho tàu thủy b)

Một con tàu mô hình 3D được cấu tạo từ lưới gồm các hình tam giác. Để tính toán lực nổi chúng ta cần tìm xem một trong các tam giác có bị chìm trong nước hay không. Nếu toàn bộ hình tam giác nằm dưới mặt nước thì chúng ta có thể ghi nhớ lại và thêm lực nổi cho toàn bộ hình tam giác đó hình 2.3a. Nhưng nếu chỉ có một phần của hình tam giác nằm dưới mặt nước, thì chúng ta phải cắt nó thành từng miếng và cắt những miếng nằm dưới mặt nước và tạo thêm lực nổi cho những miếng đó và nó sẽ trông giống hình 2.3b dưới đây:



Hình 2.3 Xác định hình tam giác chìm trong nước a) và các trường hợp tam giác chìm với thuật toán tối ưu hóa xử lý sai số b)

Có bốn trường hợp đơn giản của giao điểm tam giác với mặt nước hình 2.3a. Từ trái sang phải, tam giác có các đỉnh lần lượt là 0, 1, 2 và 3 là đỉnh chìm. Với trường hợp 1 và 2 đỉnh bị ngập, chúng ta cần thêm các tam giác cho phần bị ngập đó. Tuy nhiên, điểm giao nhau với mặt nước là không chính xác, trong trường hợp này chúng ta cần đơn giản hóa. Ba ví dụ hình 2.3b về các trường hợp đặc biệt mà ta cần thuật toán tối ưu hóa xử lý sai số. Các khu vực màu đỏ biểu thị hình tam giác mà lẽ ra được coi là dưới nước, nhưng đã bị bỏ sót. Hình tam giác bên trái có giao điểm với mặt nước, nhưng không có đỉnh nào của chúng nằm dưới mặt nước. Hình tam giác ở giữa được nhìn thấy theo hình chiếu bằng, nó thậm chí không giao nhau với bề mặt nước trên bất kỳ cạnh nào của nó, vì đỉnh sóng đâm xuyên qua giữa hình tam giác. Hình tam giác bên phải có hai đỉnh ở dưới mặt nước, nhưng nước cũng để lại hình tam giác ở cạnh giữa hai đỉnh này. Sau khi xác định được các phần tam giác chìm của con tàu ở trong nước ta sẽ tính được diện tích bề mặt - S , pháp tuyến n , từ đó ta xác định được lực nổi tác động vào con tàu.

Lực nổi là một lực thủy tĩnh, khi nước không chảy hoặc nếu con tàu vẫn đứng yên, có công thức tính như sau:

$$F_{buoyancy} = \rho g V \quad (2.1)$$

Trong đó: ρ - tỷ trọng của nước, g - gia tốc trọng trường, V - thể tích chất lỏng ngay trên bề mặt cong, $V = z S_n$, z - độ sâu dưới bề mặt chất lỏng, S - diện tích bề mặt, n - pháp tuyến.

Từ tính toán của phương trình 2.1 khối hàm Buoyancy() được tạo ra từ phương trình 1.9 hình thành lực nổi $g(\eta)$ cho mô hình tàu chủ như hình 2.2

2.2.2 Tạo lực và mô men thủy động học cho tàu thủy

Ngoài lực và mô men $g(\eta)$ ta cần tạo ra lực và mô men τ cho đối tượng tàu, trong đó: $\tau = \tau_{hyd} + \tau_{cs} + \tau_{prop} + \tau_{ext}$, với τ_{hyd} là lực và mô men thủy động học tác động vào tàu thủy. Thành phần này được tạo ra trên cơ sở các phương trình tương ứng bằng các khối hàm và thuộc tính trong bảng sau:

Bảng 2.1 Các thành phần lực và mô men

Thành phần lực và mô men	Khối hàm, Thuộc tính thực hiện	Phương trình
τ_R	Rigidbody.AddForce(). Rigidbody.AddTorque(), Rigidbody.AddRelativeTorque().	1.12
τ_D	Rigidbody.AddForce(). Rigidbody.AddTorque(), Rigidbody.AddRelativeTorque(). Rigidbody.Drag Rigidbody.Angular Drag	1.16

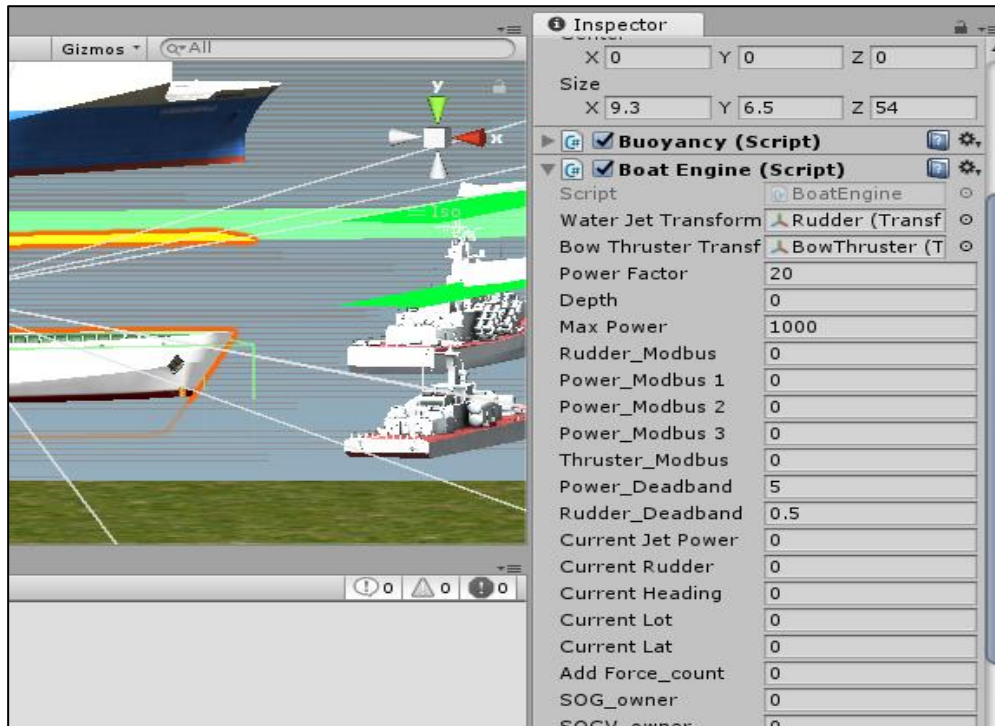
2.2.3 Tạo lực và mô men liên quan đến thiết bị đẩy và bánh lái cho tàu thủy

Để đối tượng con tàu đi được trên biển cần phải có lực của thiết bị đẩy là diesel chính lái chân vịt, hệ thống cũng tạo ra các lực dựa này theo tính toán và cài đặt trong phần mềm để tạo ra lực và mô men $\tau_{cs}; \tau_{prop}$. Các thành phần này được tạo ra trên cơ sở các phương trình tương ứng bằng các khối hàm và thuộc tính trong bảng sau:

Bảng 2.2 Các thành phần lực và mô men

Thành phần lực và mô men	Khối hàm, Thuộc tính thực hiện	Phương trình
τ_{CS}	Rigidbody.AddForceAtPosition(), Rigidbody.AddRelativeForce(), Rigidbody.AddRelativeTorque().	1.19
τ_{prop}	Rigidbody.Drag Rigidbody.Angular Drag BoatEngine()	1.22

Hình 2.4 dưới đây cho phép ta cài đặt toàn bộ các thành phần lực và mô men ở trên vào đối tượng mô hình tàu 3D.



Hình 2.4. Cửa sổ cài đặt các lực đẩy, lực cản và mô men vào đối tượng con tàu

Trong khối hàm BoatEngine(), các tập lệnh này sẽ bao gồm các phương trình động lực học với các giá trị thực tế của đối tượng cần nghiên cứu là lớp tàu TT400. Như vậy, cho đến mục này NCS đã mô phỏng được chuyển động của con tàu 3D trong nước với các chuyển động 6 trục tự do theo cấp sóng và có thể hành trình khi có tín hiệu điều khiển tới động cơ diesel lai chân vịt tạo lực đẩy. Tuy nhiên, để hoàn thiện mô phỏng chuyển động tàu thủy ta cần bổ sung thêm các lực do nhiều môi trường tạo ra tác động vào con tàu.

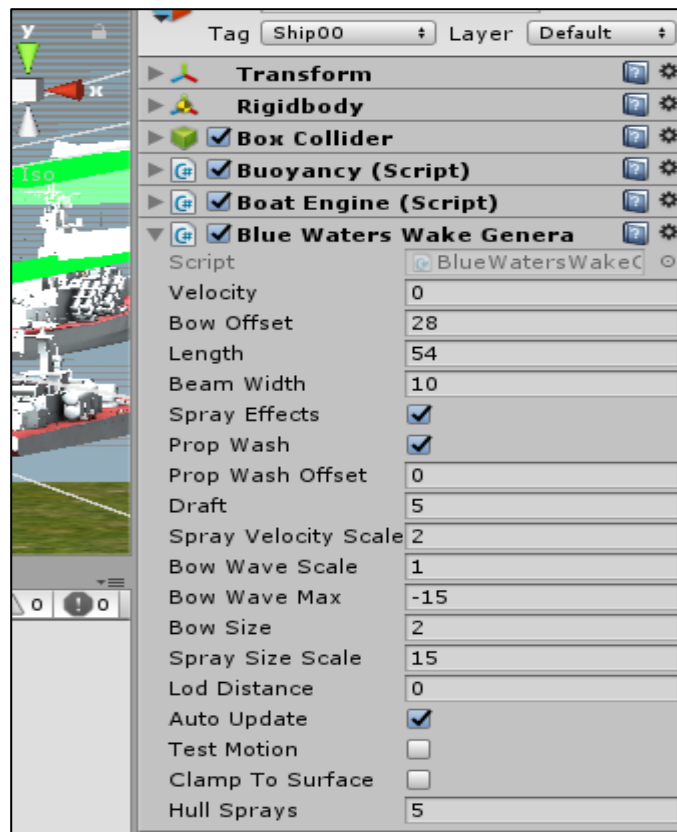
2.2.4 Tạo lực và mô men do nhiễu môi trường tác động tàu thủy

Lực và mô men do nhiễu môi trường tác động tàu thủy bao gồm: τ_{wave} ; τ_{wind} ; $\tau_{current}$. Các thành phần này được tạo ra trên cơ sở các phương trình tương ứng bằng các khối hàm và thuộc tính trong bảng sau:

Bảng 2.3 Thành phần lực và mô men

Thành phần lực và mô men	Khối hàm, Thuộc tính thực hiện	Phương trình
τ_{wave}	Buoyancy()	1.42
τ_{wind}	Rigidbody.AddForce(). Rigidbody.AddTorque(),	1.30
$\tau_{current}$	Rigidbody.AddForce(). Rigidbody.AddTorque(),	1.24

Cuối cùng, lực tương tác với nước phía đuôi tàu và tạo hiệu ứng khi tàu chạy giống với thực tế được lập trình trong thuộc tính Blue Waters Wake Generator như hình 2.5.



Hình 2.5. Cửa sổ cài đặt mô phỏng tương tác giữa đối tượng nghiên cứu và nước biển

2.2.5 Thu thập thông tin 6 bậc tự do của mô hình tàu thủy

Sau khi thêm thành phần Rigidbody vào Ship_GameObject, kết hợp với các lực được tạo ra như vế trái của phương trình 1.1 và tác động vào đối tượng Ship_GameObject thì đối tượng mô hình con tàu sẽ chuyển động 6 bậc tự do như con tàu thật chuyển động trên biển bao gồm cả các tác động của môi trường. Khi đó, các thành phần tọa độ và góc η và đạo hàm của nó ν (vế phải của phương trình 1.1) sẽ được thu thập bằng các khối hàm và thuộc tính trong bảng 2.4 như sau:

Bảng 2.4 Các thành phần tọa độ và góc

Thành phần tọa độ và góc	Khối hàm, Thuộc tính thực hiện	Phương trình
x	Transform.position.x	1.2
y	Transform.position.z	1.2
z	Transform.position.y	1.2
ϕ	Transform.eulerAngles.y	1.2
θ	Transform.eulerAngles.x	1.2
ψ	Transform.eulerAngles.z	1.2
u	Rigidbody.velocity.z	1.2
v	Rigidbody.velocity.x	1.2
w	Rigidbody.velocity.y	1.2
p	Rigidbody.angularVelocity.z	1.2
q	Rigidbody.angularVelocity.x	1.2
r	Rigidbody.angularVelocity.y	1.2

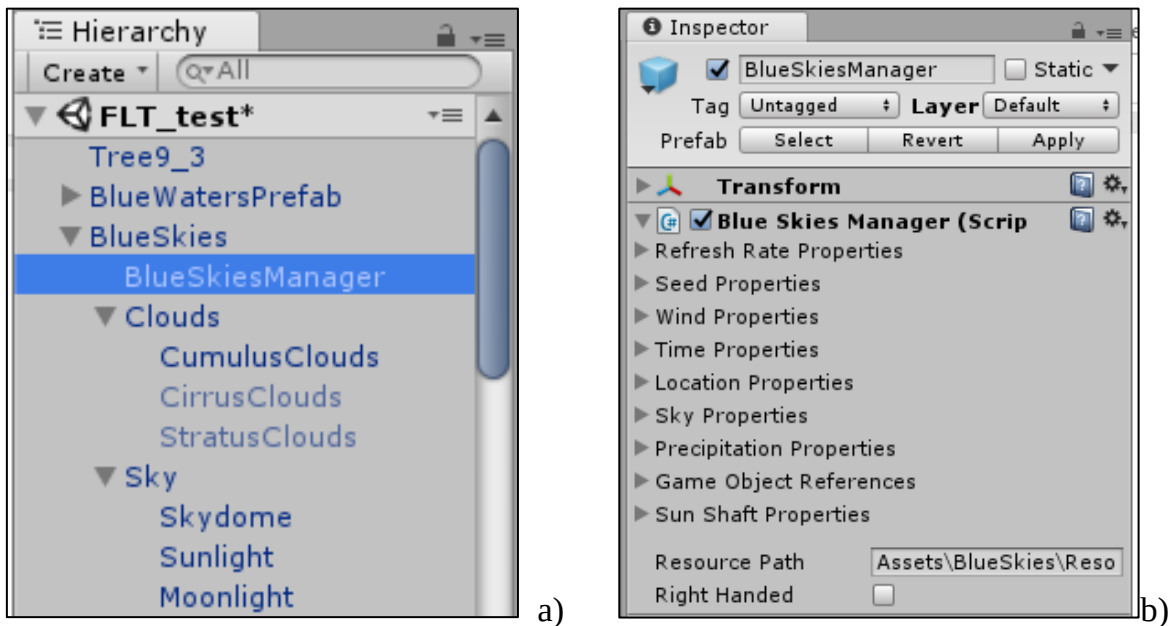
2.2.6 Một số đối tượng thời tiết và địa hình, địa vật tương tác trong lập trình

Hệ thống phỏng các hiệu ứng hình ảnh môi trường khác nhau bao gồm sương mù, mây, sao, pha mặt trăng, mưa và mặt biển. Bên cạnh đó, phạm vi hiển thị ánh sáng đèn của phao luồng, hải đăng và đèn của tàu mục tiêu cũng sẽ được tính toán và mô phỏng theo yêu cầu thiết kế.

a. Tạo yếu tố thời tiết

Yếu tố thời tiết được mô phỏng sao cho sát với thực tế nhất, thời gian ban ngày, ban đêm. Ngoài ra, trong điều kiện thời tiết xấu như bão, sương mù hoặc tuyết cũng được mô phỏng trong phần mềm.

Để tạo ra được các yếu tố thời tiết trước tiên cần tạo ra một gameobject với tên là BlueSkies. Trong thuộc tính này bao gồm các thuộc tính con như bầu trời, mây, và các yếu tố ngoại cảnh (BlueSkiesManager).

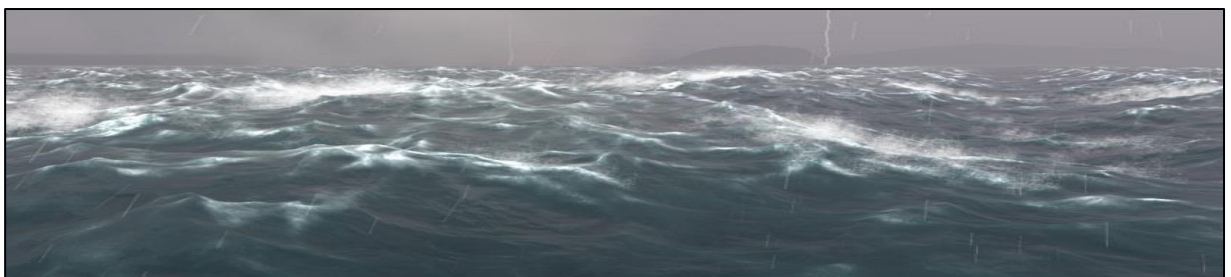


Hình 2.6. Cửa sổ cài đặt bầu trời a) và cài đặt thuộc tính bầu trời b)

Trong cửa sổ thuộc tính này có thể cài đặt các yếu tố cho bầu trời tùy thuộc vào người sử dụng.



Hình 2.7. Đối tượng bầu trời Silver lining



Hình 2.8. Đối tượng sóng biển Triton ocean



Hình 2.9. Tạo hiệu ứng hình ảnh ban đêm



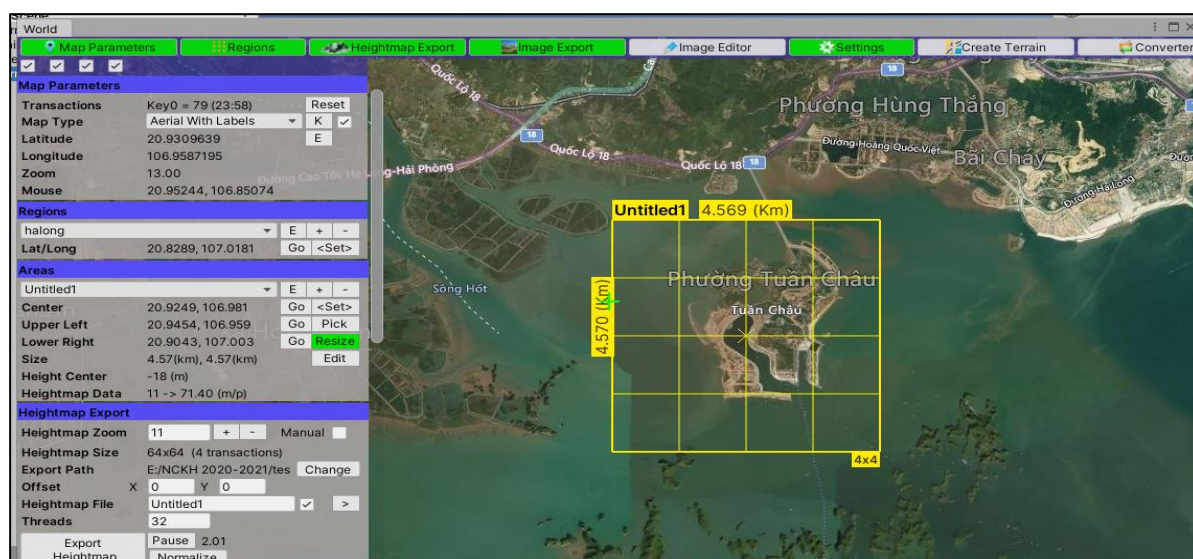
Hình 2.10. Tạo hiệu ứng hình ảnh ban ngày, trạng thái mặt biển và mưa

b. Tạo địa hình cho hệ thống mô phỏng

Hệ thống mô phỏng có thể tạo ra rất nhiều địa hình sát với thực tế tại mỗi khu vực khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu. Nhiều cảng biển lớn cũng được đưa vào phần mềm và được cập nhật thường xuyên. Trong đề tài luận án này xây dựng địa hình bằng hai phần mềm: Word Composer và Terrain Composer.

Hai phần mềm này cho phép thiết kế các địa hình lớn dụng phần mềm 3D dễ dàng. Ngoài ra, nó còn cho phép người thiết kế kết hợp với Google Map để đưa địa hình thực tế nhất vào mô hình mô phỏng.

Đầu tiên, ta sử dụng Word Composer để lấy tọa độ, độ cao, bán kính chi tiết từng địa hình và khu vực theo Google Map. Sau khi lựa chọn được chính xác khu vực mong muốn, tiếp theo tiến hành cài đặt các thông số của Terrain, sử dụng công cụ Export Heightmap để đo đạc và đưa ra độ cao kết hợp với Export Image để lấy hình ảnh thực của bản đồ.

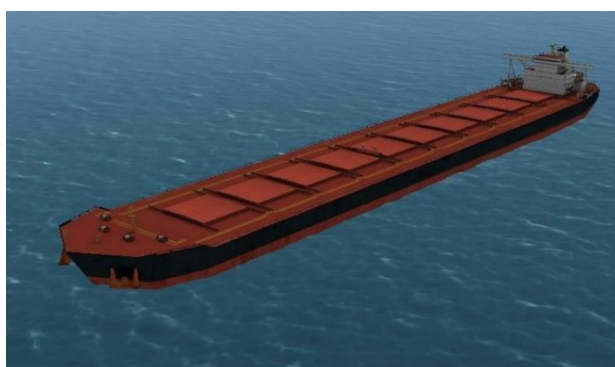


Hình 2.11. Cửa sổ lấy địa hình thực tế từ World Composer

Sau khi hoàn thành cài đặt thông số của Terrain tiến hành Create Terrain ra phần mềm Unity3D.

2.2.7 Một số mô hình 3D tàu mục tiêu

Đối với các mô hình tàu biển, tác giả thiết kế một số mô hình tàu cơ bản phổ biến. Tùy theo yêu cầu sẽ xây dựng bất kỳ mô hình tàu mục tiêu cụ thể nào cần được thêm vào. Sau đây là một số mô hình tàu 3D của tàu mục tiêu hình 2.19.



a)



b)

Hình 2.12. Mô hình 3D tàu Bulk Carrier a) và mô hình 3D tàu Cargo b)

Như vậy, sau khi mô hình mô phỏng 3D chuyển động tàu thủy hoạt động, NCS thực hiện thu thập tham số là các thành phần chuyển động 6 bậc tự do của tàu chủ trong vector η . Phần mã lệnh C# để hoàn thành được nhiệm vụ mô phỏng là quá nhiều, trong khuôn khổ giới hạn của đề tài luận án tác giả xin phép được không đưa vào đây. Ở mục tiếp theo để mô phỏng chuyển động bằng sàn treo cabin, NCS sẽ đề xuất phương án thiết kế cấu trúc sàn treo và giới hạn lại chỉ sử dụng 03 tín hiệu chuyển động chính là lắc ngang, lắc dọc và trượt đứng (ϕ, θ, z).

2.3 Đề xuất cấu trúc hệ thống mô phỏng hàng hải

2.3.1 Mô hình mô phỏng chuyển động của tàu thủy

Sau quá trình tìm hiểu, đánh giá và nghiên cứu các mô hình đã có ở trong nước và trên thế giới cộng với khả năng đáp ứng nguồn lực của cá nhân. NCS đề xuất cấu trúc phần khung cơ khí của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy mà cá nhân sẽ tiến hành xây dựng có hình ảnh như hình 2.13 dưới đây:



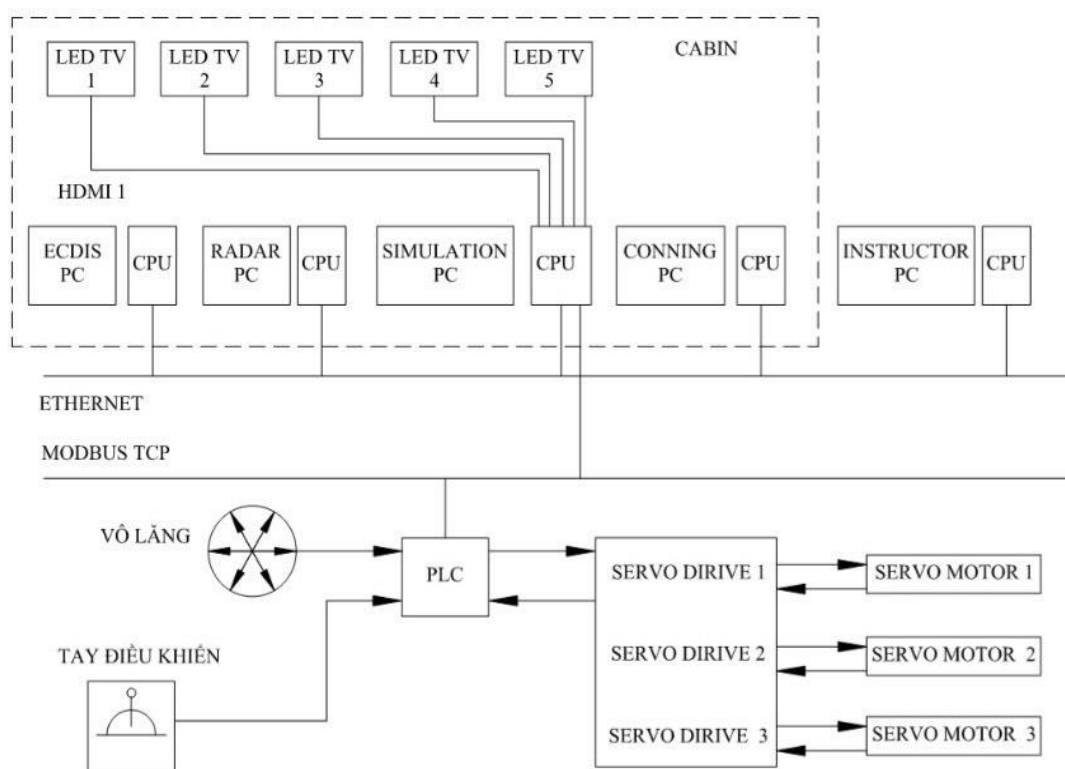
Hình 2.13. Cấu trúc khung cơ khí của hệ thống mô phỏng chuyển động của tàu thủy

Trong hệ thống mô phỏng hàng hải, đặc tính động học, động lực học của con tàu từ các phương trình toán học ở chương 1 được lập trình bằng ngôn ngữ C# và chạy trên một hệ máy tính giả lập đã được thực hiện trong mục 2.2. Các thông số của tàu được truyền qua lại với hệ thống máy tính giáo viên (Instructor PC) và đảm nhiệm vai trò tạo ra các hình ảnh hiện trường 2D, 3D các hiệu ứng ngày/đêm, thời tiết và môi trường trên biển như sóng, gió, hải lưu. Hình ảnh điều động con tàu khi nhìn ra từ buồng lái được thể hiện trong 5 màn hình LCD 43 inch. Các tình huống của môi trường, tàu mục tiêu, tình huống kỹ thuật có thể được tạo ra bởi một máy tính Instructor PC để cho học viên được huấn luyện. Các dữ liệu tọa độ, hướng mũi tàu, tốc độ tàu, độ sâu đáy biển sẽ được chuyển tới các thiết bị GPS, la bàn, speed log, máy đo sâu và ECDIS để người vận hành có thể thực tập khai thác và giám sát. Hệ thống lái tự động mô phỏng sẽ cung cấp góc bẻ lái cho máy tính tàu chủ và từ sự chênh lệch hướng đi với hướng đặt sẽ đưa ra tác động bẻ lái khi ta vận hành lái tự động. Các chế độ lái HAND, NFU và AUTO/PID được tích hợp sẵn, các tình huống báo động của máy lái như mức dầu, quá tải, mất pha và mất

nguồn đều có thể được tạo ra từ máy PC của hướng dẫn viên. Ngoài ra, hệ thống điều khiển từ xa diesel và tay chuông truyền lệnh được tích hợp trên bàn cabin lái để liên lạc với buồng máy.

Cabin lái buồng lái có kiến trúc mạng kiểu song song bao gồm 02 hệ thống mạng (Ethernet/Modbus TCP và hệ thống mạng theo tiêu chuẩn hàng hải NMEA018) để đảm nhiệm kết nối dữ liệu giữa các thiết bị nội bộ như: AUTOPILOT, GPS, ENCHO SOUNDER, SPEED LOG, GYRO COMPASS và ECDIS.

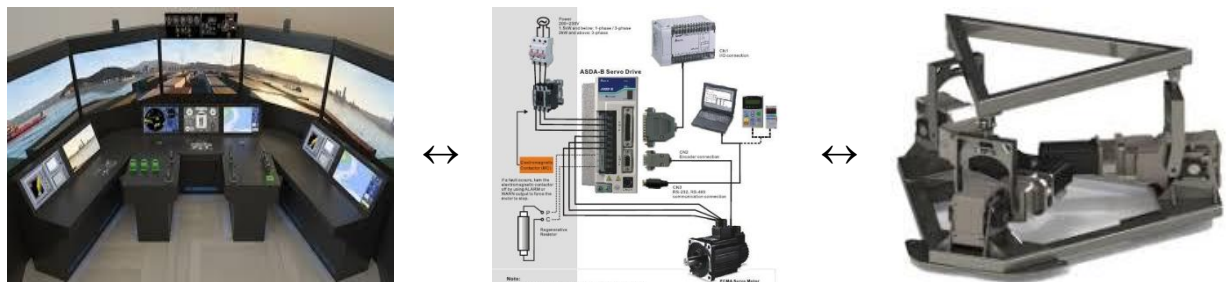
Ngoài ra, hệ thống âm thanh của sóng gió, sấm chớp, máy móc và âm thanh báo động cũng được mô phỏng như thật tạo ra cảm giác trải nghiệm ấn tượng cho người học. Khi toàn bộ cabin buồng lái này được gắn trên một hệ chuyển động sao cho dao động của nó đồng bộ với dao động thật của tàu quanh các trục khi đó ta được hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy dạng 3DOF. Cấu trúc tổng quát mạng truyền thông của hệ được mô tả ở trên có dạng như hình 2.14 dưới đây.



Hình 2.14. Cấu trúc mạng của hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy

Hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy là nhằm tạo ra một bản sao buồng lái giống hệt buồng lái của một con tàu hiện đại được đề xuất như hình 2.15. Trong luận án này, kích thước của buồng lái được thiết kế là 2.4x2.4m và chiều cao là 1,75m. Khối

lượng đủ tải của buồng lái khoảng 1300kg. Bàn điều khiển, các thiết bị như Radar/ARPA, ECDIS, Conning... và nội thất khác cũng được trang bị. Buồng lái được gắn trên một sàn chuyển động trong ba bậc tự do. Sàn chuyển động được thiết kế trên nguyên tắc của Stewart platform. Thực tế, việc ứng dụng mô hình chuyển động của Stewart platform cho các hệ mô phỏng phương tiện giao thông vận tải như máy bay, tàu thủy, ô tô... rất đa dạng và phong phú. Trong đề tài của luận án NCS hướng đến mô hình ba bậc tự do kiểu điều khiển ba trục song song dựa trên chuyển động quay của động cơ servo với hệ tay quay nối khớp tay đòn trung gian như hình 2.16b. Có nhiều công trình nghiên cứu xoay quanh kiểu cấu trúc tương tự này như các công trình [41,43,44,45] nghiên cứu về động học ngược, thuận dạng ba piston, công trình [53] nghiên cứu về điều khiển động lực học. Tuy nhiên, chỉ có các công trình [54,55] nghiên cứu cấu trúc giống với cấu trúc của đề tài luận án đề xuất. Các công trình này đều cho phép tính toán gần đúng góc quay động cơ servo α_i do đó khi dao động của mặt sàn mô phỏng khoảng $\pm 15^\circ$, gần giống thực tế chuyển động của một con tàu thì sai số đến 5%. Điều này làm giảm tính chính xác trong mô phỏng chuyển động tàu thủy. Trước tiên, ở mục này luận án sẽ tập trung vào việc xây dựng cách tính chính xác α_i để đáp ứng cho mô hình điều khiển từ PLC, đồng thời tiến hành các mô phỏng để đánh giá sai số dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson. Sau đó tiến hành sử dụng tổ hợp bộ điều khiển PLC và Drive/Servo để hiện thực hóa chuyển động cho mô hình thật.



Hình 2.15 Mô hình mô phỏng chuyển động 3DOF buồng lái tàu thủy

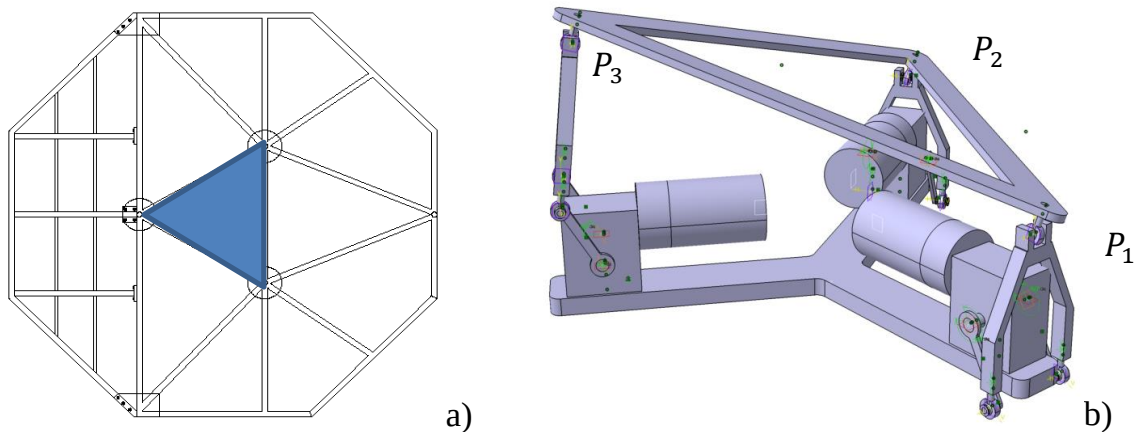
Cấu trúc hình 2.15 được diễn giải như sau: tín hiệu chuyển động thật 3 DOF (roll, pitch, heave, yaw) của con tàu trong mô phỏng 3D lập trình trên phần mềm Unity3D từ bảng 2.4 ở chương 2 được gửi đến PLC trung gian thông qua giao thức Modbus TCP. Từ tín hiệu này PLC sẽ tính ra chuyển động quay của 3 trục của động cơ servo sau đó gửi tín hiệu điều khiển dạng xung đến các drive của các servo tương ứng.

Trong mỗi động cơ servo đều có các encoder phản hồi góc quay của nó, do đó thông qua bộ điều khiển PID được cài đặt trong drive góc quay của động cơ được điều khiển chính xác và đảm bảo tuân thủ lệnh điều khiển từ PLC.

2.3.2 Mô phỏng chuyển động của tàu thủy với sàn treo ba bậc tự do (3DOF)

Mô hình chuyển động ứng dụng cho hệ thống mô phỏng hàng hải với sàn treo cabin buồng lái tàu thủy được đề xuất có dạng 3 bậc tự do trên cơ sở cấu trúc của Stewart platform. Cấu truyền động phổ biến hiện nay của cấu trúc này là dùng hệ dẫn động kiểu piston chuyển động thẳng thông qua trục vít vô tận nối trực với động cơ thủy lực, khí nén hoặc động cơ điện servo. Tuy nhiên, NCS nghiên cứu cấu trúc có điều chỉnh trong đó 3 trục song thay bằng 3 tay đòn được nối khớp với 3 tay quay truyền động bởi 3 động cơ servo như hình 2.16. Như vậy tín hiệu điều khiển trực tiếp chuyển động của sàn cabin là giá trị góc của 3 tay quay:

$$\underline{\alpha} = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3]^T \quad (2.2)$$

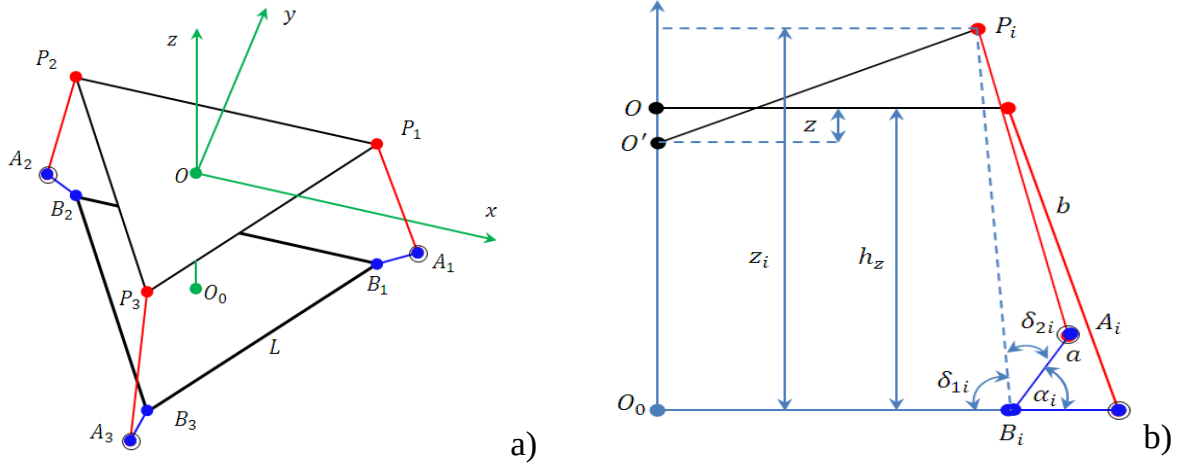


Hình 2.16 Mô hình mô phỏng chuyển động 3 bậc tự do sử dụng động cơ servo:

a) Mặt sàn để gắn cabin buồng lái, b) Khung tam giác truyền động

Cấu trúc hình học của mô hình này thể hiện ở hình 2.16a, trong đó P_1, P_2, P_3 là ba trên mặt sàn di động nối khớp với cánh tay đòn; B_1, B_2, B_3 là 3 điểm tâm trục quay của hệ servo/hộp số trên mặt sàn cố định và A_1, A_2, A_3 là 3 khớp nối giữa cánh tay đòn b và tay quay a . Hai tam giác đều $P_1 P_2 P_3$ và $B_1 B_2 B_3$ có kích thước bằng nhau với độ dài mỗi cạnh là $L = 1255mm$. Ở vị trí ban đầu mặt sàn di động ($P_1 P_2 P_3$) cách mặt sàn cố định ($B_1 B_2 B_3$) là $h_z = 458mm$. Cabin buồng lái hình 1a đặt cách mặt sàn di động

$(P_1 P_2 P_3)$ hình 1b ở độ cao là $h_0 \approx 0$. Điều kiện về kích thước của 3 thông số a, b, h_z như sau: $b^2 = a^2 + h_z^2, A_i P_i = b = 500mm; B_i A_i = a = 200mm; O_0 O = h_z$.



Hình 2.17 a) Sơ đồ hình học của mô hình 3DOF, b) Tay quay và tay đòn

Hệ trục gắn cố định trên mặt phẳng sàn di động $(P_1 P_2 P_3)$ có các trục x, y, z như trên hình 2.17. Với mặt phẳng này có 3 chuyển động được tạo ra bao gồm: chuyển động quay quanh trục y (lắc ngang) là ϕ ; chuyển động quay quanh trục x (lắc dọc) là θ và chuyển động trượt dọc theo trục thẳng đứng là z . Như vậy, ta có trạng thái của sàn có dạng như sau: $\underline{\eta} = [\phi \ \theta \ z]^T$. Để có được vị trí của mặt sàn di động theo vị trí của tàu mô phỏng ta phải chuyển đổi 3 trục tọa độ về hệ trục tọa độ gắn trên mặt sàn cố định $(B_1 B_2 B_3)$ bằng các ma trận chuyển đổi trục tọa độ. Theo tài liệu [42] về động lực học của tàu ta có hai chuyển đổi chuyển động lắc ngang ϕ và lắc dọc θ của tàu theo tâm quay O với hai phương trình ma trận quay là (2.3) như sau:

$$T_r = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix}; T_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Từ (2.3) ta được ma trận chuyển đổi là tích $T_r T_p$. Với giả thiết rằng cabine buồng lái đặt ngay tại tâm quay của sàn và cách mặt sàn một khoảng cách là $h_0 \approx 0$. Ta có tọa độ của ba điểm P_i trên mặt sàn di động tại vị trí ban đầu:

$$P_{123}(0) = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} & -\frac{L}{2} & 0 \\ \frac{L}{2\sqrt{3}} & \frac{L}{2\sqrt{3}} & -\frac{L}{\sqrt{3}} \\ h_0 & h_0 & h_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} & -\frac{L}{2} & 0 \\ \frac{L}{2\sqrt{3}} & \frac{L}{2\sqrt{3}} & -\frac{L}{\sqrt{3}} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Kết hợp (2.3) và (2.4) ta được tọa độ của ba điểm trên mặt sàn di động theo tọa độ của trục trên mặt sàn cố định sẽ là $T_r T_p P_{123}(0)$. Chuyển đổi trục thứ ba chỉ là trượt

dọc theo trục z , nên ta chỉ cần thêm vào tọa độ z của ba điểm một giá trị như nhau z_f là thỏa mãn.

2.4 Mô hình động học ngược xác định góc quay động cơ servo

Mô hình động học ngược rất quan trọng cho bài toán điều khiển để xác định góc quay của mỗi trục động cơ α_i ($i = 1, 2, 3$) từ dữ liệu độ nghiêng, độ lắc và độ cao tương đối từ mô hình mô phỏng 3D của con tàu là vector $\underline{\eta}$. Với độ cao ban đầu của tâm sàn di động so với sàn cố định là h_z do đó, tâm O của sàn có cao độ là $z_f = h_z + z$ và có tọa độ: $O = [0 \ 0 \ h_z + z]^T$ trong mặt phẳng cố định. Kết hợp với các phép biến đổi trục đã thực hiện ở mục 2 ta được tọa độ các điểm P_{123} sẽ có dạng như (2.5) sau đây:

$$P_{123} = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} \cos \phi - \frac{\sqrt{3}L}{6} \sin \theta \sin \phi & -\frac{L}{2} \cos \phi - \frac{\sqrt{3}L}{6} \sin \theta \sin \phi & -\frac{\sqrt{3}L}{3} \sin \theta \sin \phi \\ \frac{\sqrt{3}L}{6} \cos \theta & \frac{\sqrt{3}L}{6} \cos \theta & -\frac{\sqrt{3}L}{3} \cos \theta \\ \frac{L}{2} \sin \phi + \frac{\sqrt{3}L}{6} \sin \theta \cos \phi + z_f & -\frac{L}{2} \sin \phi + \frac{\sqrt{3}L}{6} \sin \theta \cos \phi + z_f & -\frac{\sqrt{3}L}{3} \sin \theta \cos \phi + z_f \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Phương trình (2.5) cho ta tọa độ của ba điểm trên mặt sàn di động kết nối khớp với ba thanh truyền động chính là sàn cabine buồng lái khi con tàu mô phỏng ở một vị trí liên quan đến tọa độ cố định. Để tính toán góc quay cần thiết trong công thức (2.1) của trục đầu ra động cơ servo ta cần các giá trị z của ba điểm kết nối này là hàng cuối cùng của ma trận (2.5). Theo công trình [45] ta có góc quay của mỗi trục được tính xấp xỉ như sau:

$$\alpha_i = \sin^{-1} \left(\frac{z_i - h_z}{a} \right) \quad (2.6)$$

Tuy nhiên, do các hạn chế của [43] như phần đặt vấn đề đã nêu ra, phần tiếp theo ta sẽ đi tìm một công thức tính toán α_i chính xác hơn. Trước tiên, từ hình 3.5b ta có tọa độ điểm B_i của mặt sàn cố định và điểm A_i là khớp nối bản lề đầu trục như (2.7) dưới đây:

$$B_{123} = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} & -\frac{L}{2} & 0 \\ \frac{L}{2\sqrt{3}} & \frac{L}{2\sqrt{3}} & -\frac{L}{2\sqrt{3}} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A_{123} = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} a \cos \alpha_1 & -\frac{L}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} a \cos \alpha_2 & 0 \\ \frac{L}{2\sqrt{3}} + \frac{1}{2} a \cos \alpha_1 & \frac{L}{2\sqrt{3}} + \frac{1}{2} a \cos \alpha_2 & -\frac{L}{\sqrt{3}} - a \cos \alpha_3 \\ a \sin \alpha_1 & a \sin \alpha_2 & a \sin \alpha_3 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Biết được tọa độ điểm P_i từ (2.5) và B_i từ (2.7) ta sẽ tính được độ dài các cạnh O_0P_i và B_iP_i . Áp dụng định lý hàm số cos với các tam giác $O_0B_iP_i$ và $P_iB_iA_i$ ta tính được các góc δ_{1i}, δ_{2i} . Từ đó ta tính được chính xác góc α_i như phương trình (2.8) sau đây:

$$\alpha_i = \pi - (\delta_{1i} + \delta_{2i}) \quad (2.8)$$

Trong đó:

$$\delta_{1i} = \cos^{-1} \left(\frac{c - \sqrt{x_i^2 + y_i^2}}{\sqrt{z_i^2 + \left(c - \sqrt{x_i^2 + y_i^2}\right)^2}} \right); \delta_{2i} = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + z_i^2 + \left(c - \sqrt{x_i^2 + y_i^2}\right)^2 - b^2}{2a \left(\sqrt{z_i^2 + \left(c - \sqrt{x_i^2 + y_i^2}\right)^2}\right)} \right); c = O_0 B_i = \frac{L}{\sqrt{3}} \quad (2.9)$$

2.5 Kiểm chứng bằng mô hình động học thuận

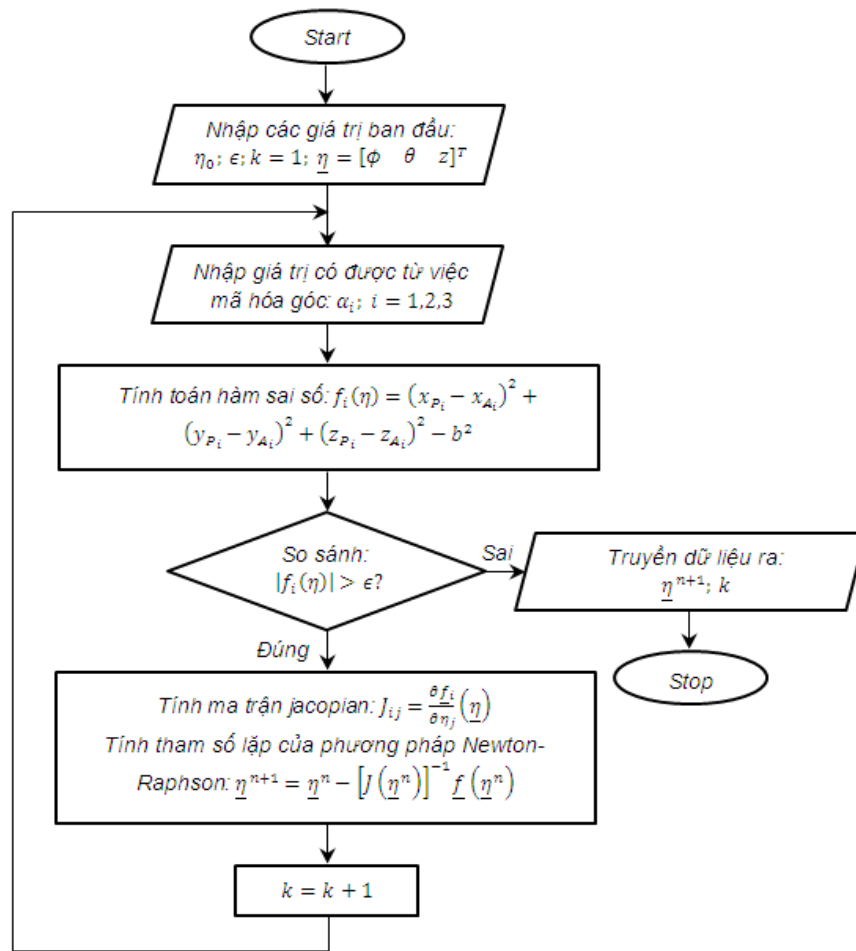
Xây dựng mô hình động học thuận giúp ta xác định được độ nghiêng, độ lắc và độ cao tương đối thực của chuyển động mô hình từ góc quay của ba động cơ α_i để so sánh với dữ liệu độ nghiêng, độ lắc và độ cao từ mô phỏng 3D là vector $\underline{\eta}$. Để xây dựng mô hình động học thuận ta sử dụng phương pháp Newton-Raphson. Độ dài $A_i P_i = b$, từ tọa độ của A_i và P_i trong [44,45] ta tính được $|A_i P_i|^2 = b^2$ và đặt hàm f_i có dạng là $\underline{f} = [f_1 \ f_2 \ f_3]^T$ trong đó các ẩn ϕ, θ, z là chưa biết:

$$f_i = (x_{P_i} - x_{A_i})^2 + (y_{P_i} - y_{A_i})^2 + (z_{P_i} - z_{A_i})^2 - b^2 \quad (2.10)$$

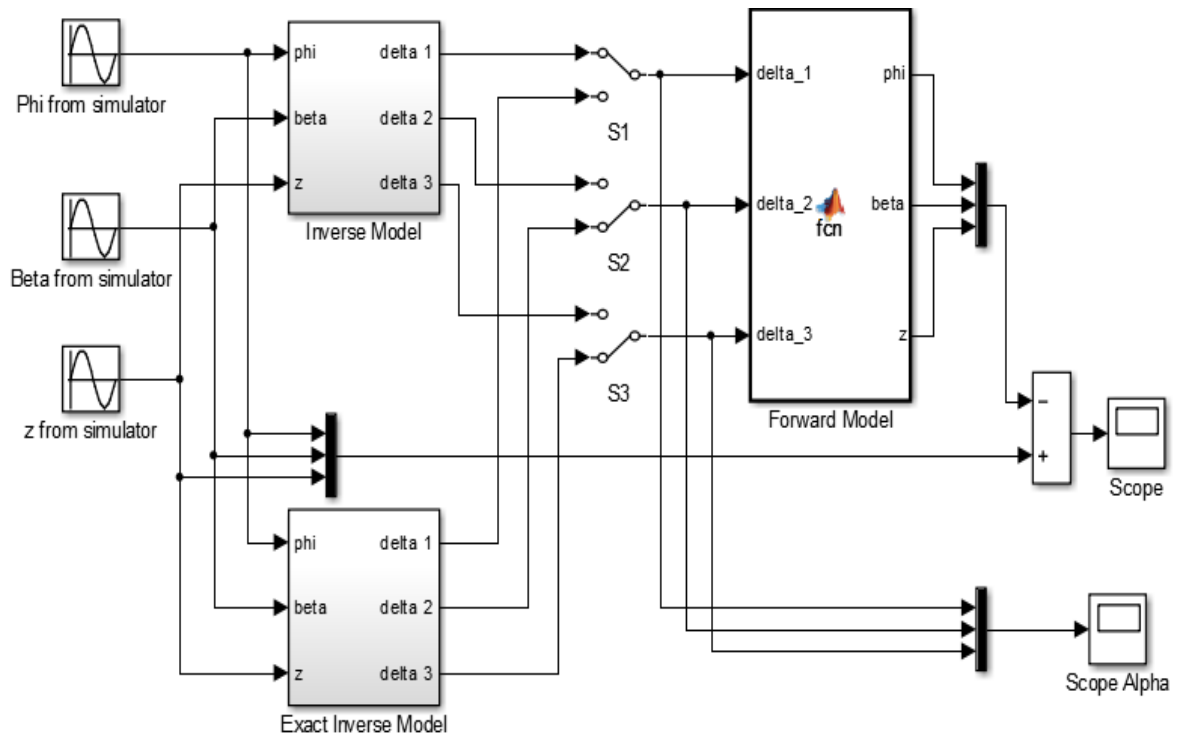
Bởi vì f_i chứa nhiều hơn một biến, đạo hàm của hàm f_i được sử dụng trong phương pháp Newton-Raphson được tìm bằng cách lấy đạo hàm riêng cho mỗi biến của $\underline{\eta}$. J là ma trận jacobian của hàm f_i với biến $\underline{\eta}$ được tính như (2.11) dưới đây:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial \eta_j}(\underline{\eta}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \phi} & \frac{\partial f_1}{\partial \theta} & \frac{\partial f_1}{\partial z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \phi} & \frac{\partial f_2}{\partial \theta} & \frac{\partial f_2}{\partial z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial \phi} & \frac{\partial f_3}{\partial \theta} & \frac{\partial f_3}{\partial z} \end{bmatrix}; j = 1, 2, 3 \quad (2.11)$$

Từ đó, các ẩn số trong $\underline{\eta}$ sẽ được tính theo phương trình: $\underline{\eta}^{n+1} = \underline{\eta}^n - [J(\underline{\eta}^n)]^{-1} \underline{f}(\underline{\eta}^n)$; với điều kiện đầu $\underline{\eta}^0 = [\phi_0 \ \theta_0 \ z_0]^T$. Kết quả thu được của thuật giải lặp này là đủ chính xác khi tham số định nghĩa độ chính xác ε phải được xác định trước đủ nhỏ: $|f_i(\underline{\eta})| \leq \varepsilon$. Từ (2.10), (2.11) cuối cùng ta có lưu đồ thuật toán như hình 2.18 và sơ đồ mô phỏng trên Matlab như hình 2.19.



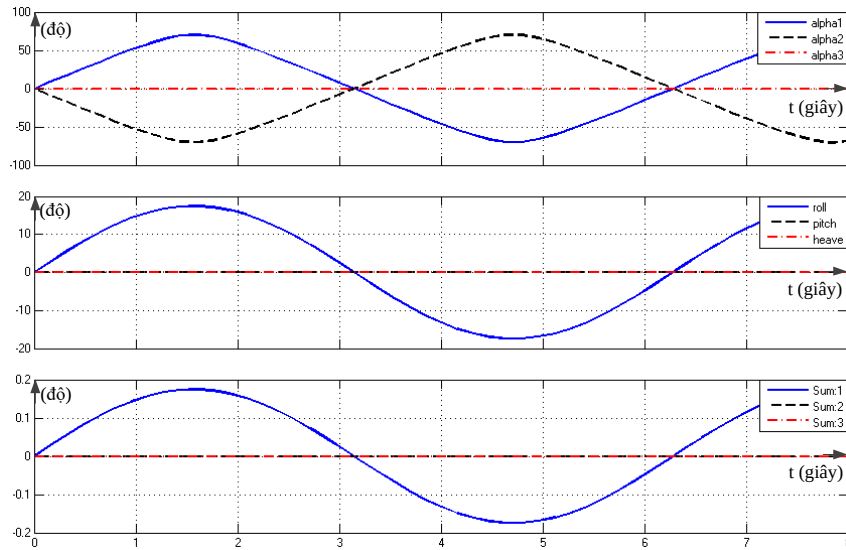
Hình 2.18 Thuật toán Newton-Raphson xác định mô hình động học thuận



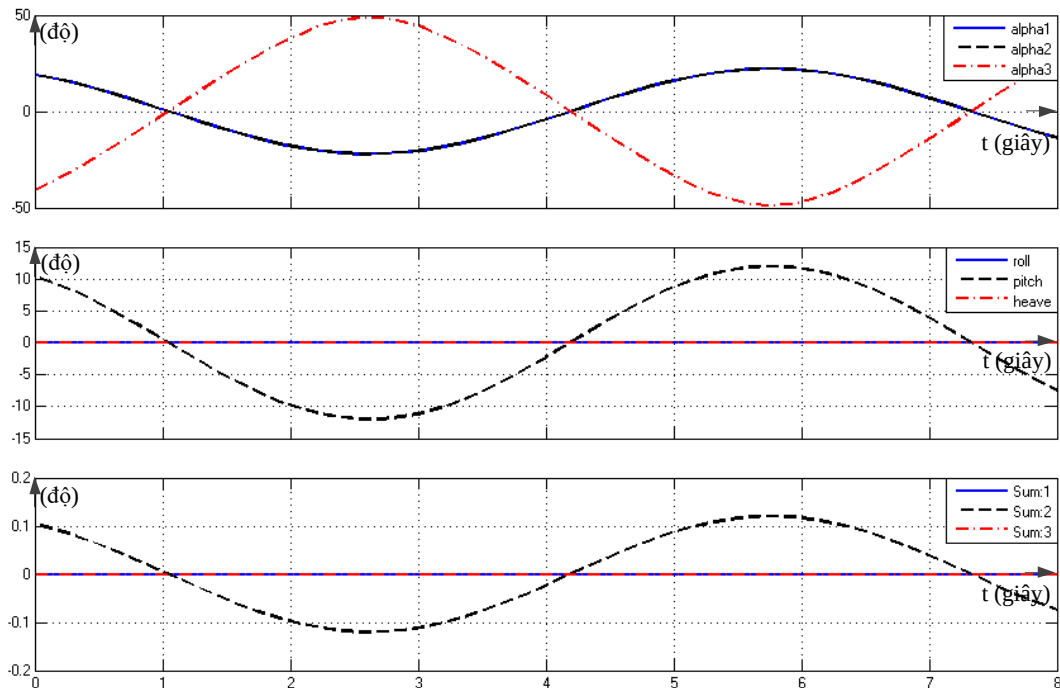
Hình 2.19 Sơ đồ mô phỏng hệ thống trên Matlab/Simulink

2.6 Kết quả mô phỏng

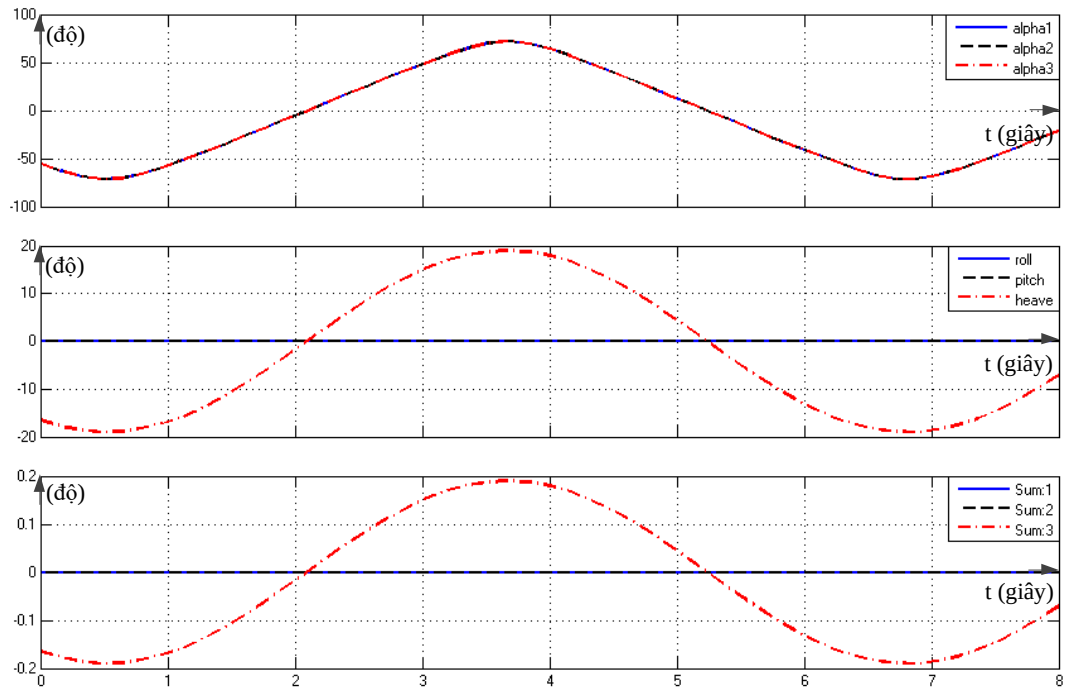
Các mô phỏng được thực hiện bao gồm các kịch bản chỉ có lắc ngang, chỉ có lắc dọc, chỉ có trượt thẳng đứng và chuyển động hỗn hợp hình 2.19. Các tín hiệu đáp ứng bao gồm ba góc quay α_i của ba servo (alpha1, alpha2, alpha3); các tín hiệu đầu vào nhận được từ phân mô phỏng 3D của tàu bao gồm ba chuyển động $\underline{\eta}$ (roll, pitch, heave); các sai lệch giữa tín hiệu đầu vào và tín hiệu sau mô hình “Forward Model” (sum1, sum2, sum3) hình 2.20, 2.21, 2.22, 2.23 dưới đây.



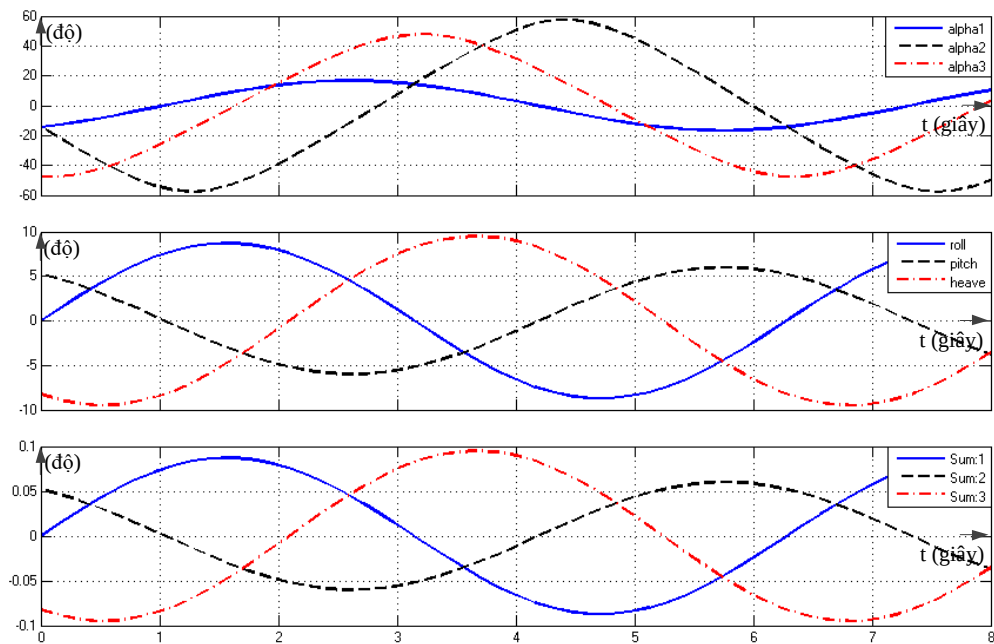
Hình 2.20 Kết quả mô phỏng khi chỉ có lắc ngang (Φ -roll)



Hình 2.21 Kết quả mô phỏng khi chỉ có lắc dọc (θ -pitch)



Hình 2.22 Kết quả mô phỏng khi chỉ có trượt dọc trục thẳng đứng (z-heave)



Hình 2.23 Kết quả mô phỏng khi có chuyển động hỗn hợp

Với $\varepsilon = 10^{-6}$ và chọn giá trị lặp ban đầu $\underline{\eta}^0 = [0 \ 0 \ 0]^T$ từ các kết quả mô phỏng hình 2.20, 2.21, 2.22, 2.23 ta thấy sai số với mô hình mới này không vượt quá $0,18^\circ/17,5^\circ \approx 1\%$, đồng thời ta cũng rút ra một kết luận quan trọng cho khoảng giá trị góc quay tối ưu để điều khiển servo còn nằm trong vùng tuyến tính là $\alpha_i = \pm 70^\circ$ ứng với giới hạn các chuyển động $roll: \pm 17.5^\circ, pitch: \pm 15^\circ, heave: \pm 190mm$. Mục tiếp

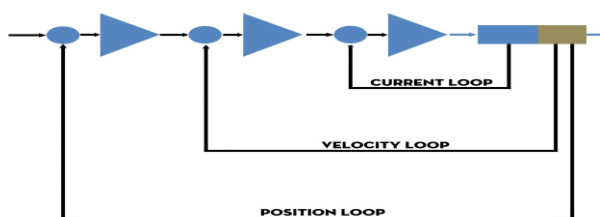
theo NCS sẽ thiết kế cấu trúc điều khiển trên cơ sở mô hình vật lý để thay cho mô hình động học thuận mô phỏng ở trên.

2.7 Xây dựng cấu trúc điều khiển bám tín hiệu mô phỏng của tổ hợp Drive/Servo ứng dụng PLC

2.7.1 Phân tích các vòng lặp điều khiển

Hướng tiếp cận của các công trình từ [117] đến [144] trong đó các tác giả chú trọng vào việc xây dựng bộ điều khiển fuzzy, neuron, LQR hoặc PID với đầu vào trực tiếp là các tín hiệu lực hoặc mô men tác động vào con tàu và đầu ra là vị trí của sà lan treo. Khi đó hệ thống sẽ trở lên phi tuyến mạnh với các bộ điều khiển vị trí. Khác với hướng tiếp cận trên, NCS sẽ tách cả hệ thành hai khối bao gồm: khối thứ nhất sẽ tiếp nhận các tín hiệu chuyển động chính là lắc ngang, lắc dọc và trượt đứng (ϕ, θ, z) từ mô hình 3D và sử dụng mô hình động học ngược (đã được thực hiện ở mục 2.4) hoặc một bộ dự báo (sẽ thực hiện trong chương 3) để tính ra các giá trị góc quay $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3]^T$ của động cơ servo. Khối thứ hai sẽ tiếp nhận các góc quay từ khối một và đảm nhiệm chức năng điều khiển vị trí với các vòng kín. Việc phân tích chi tiết xây dựng mô hình sà lan treo vật lý và kết nối phần cứng thuộc khối này sẽ được trình bày trong chương 3, trong mục NCS chỉ đề cập đến vấn đề điều khiển trong phần mềm.

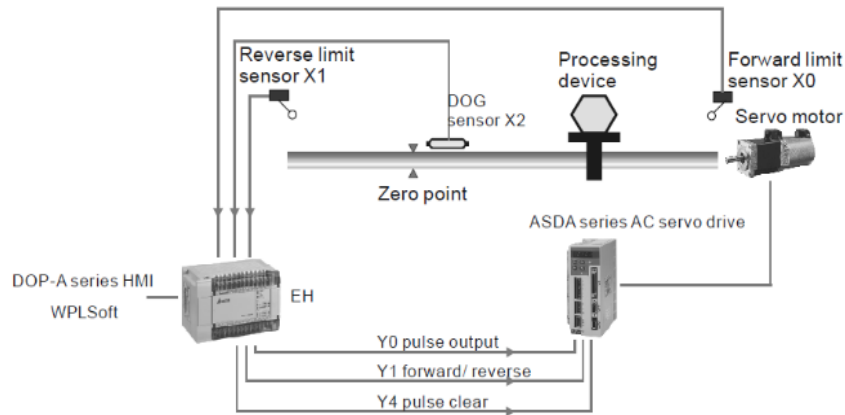
Để điều khiển các góc quay của động cơ theo phương trình (2.3) thì cấu trúc vòng lặp điều khiển động cơ servo thường gồm 03 mạch vòng kín nối tầng như hình 2.24. Vòng trong cùng là điều khiển mô men, ở giữa là vòng điều khiển tốc độ và ngoài cùng là vòng điều khiển vị trí.



Hình 2.24. Cấu trúc vòng lặp trong điều khiển nối tầng động cơ servo

Tiếp theo NCS đề xuất phương án điều khiển vị trí sử dụng PLC và Servo Motor như hình 2.25. Trong đó, PLC sẽ nhận tín hiệu từ máy tính, tiến hành xử lý sau đó sử dụng các đầu ra tốc độ cao Y0, Y1 phát xung điều khiển vị trí tới bộ Drive/Servo, Bộ Drive/Servo này làm việc giống như thiết bị biến tần, nó thực hiện điều khiển các van IGBT để cấp điện áp và tần số cho động cơ servo. Tín hiệu dòng và encoder gắn trên

đầu trục động cơ sẽ thực hiện phản hồi dòng điện, tốc độ và vị trí chính xác đảm bảo góc quay của trục động cơ bám theo vị trí yêu cầu với đáp ứng nhanh và chất lượng tối ưu. Như vậy, với giải pháp ghép nối tín hiệu trực tiếp giữa tín hiệu giữa PLC và Drive đã giảm được thời gian trễ so với ghép nối mạng CAN như rất nhiều công trình đã thực hiện.



Hình 2.25. Cấu trúc điều khiển sử dụng PLC và Servo Motor của hãng Delta

Họ PLC của hãng Delta có loại PLC DVP28SV11T2 có 4 cặp (8 đầu ra) có thể phát xung tốc độ cao từ 10÷200KHz là: Y0, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6 và Y7, vì vậy nhóm tác giả lựa chọn loại PLC này.

Trên cơ sở tải trọng của cabin buồng lái và tỷ số truyền của hộp số là $i = 120$, tần số dao động của sàn $\leq 0,25\text{Hz}$ ta sẽ chọn 03 Drive/động cơ servo 3 pha ASDA-B2 có công suất là 1,5kw, tốc độ định mức 2000 vòng/phút.

Tín hiệu chuyển động lắc ngang ϕ , lắc dọc θ và thẳng đứng z của con tàu được cấp từ máy tính chủ 3D thông qua giao thức Modbus TCP đến PLC. Trong chương trình lập trình của PLC ta sẽ sử dụng các lệnh Float 32bit để tính ra giá trị góc của 3 tay quay: $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3]^T$ theo các công thức (2.8) và (2.9) với chu kỳ tính là 100ms.

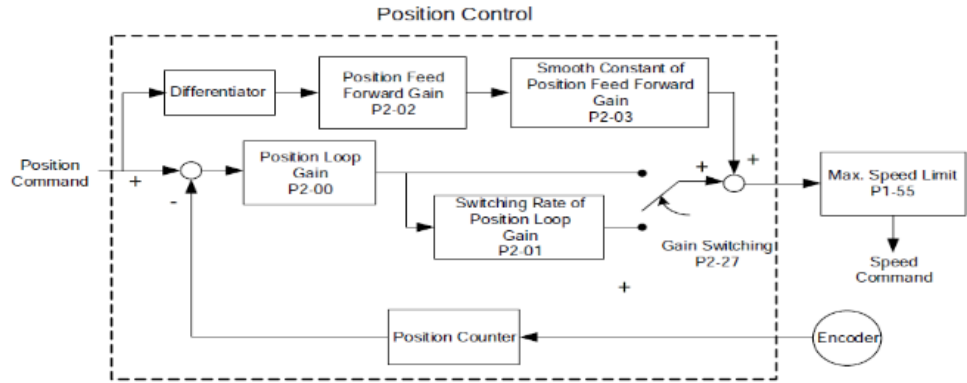
Ba động cơ servo sẽ truyền động độc lập cho ba đỉnh của giá đỡ sàn tam giác ($P_1 \ P_2 \ P_3$), do đó mômen tải M_c và mô men quán tính J đối với hệ truyền động điện của mỗi động cơ sẽ có sự thay đổi ngẫu nhiên tùy thuộc trạng thái chuyển động của con tàu. Điều này dẫn đến chất lượng điều khiển vị trí sẽ bị suy giảm lớn cả về độ chính xác lẫn thời gian đáp ứng. Để cải thiện, ta cần phải thiết kế bộ điều khiển PID của Drive hoạt động tối ưu hơn thông qua việc cài đặt chế độ ‘AMT - AUTO MODE TUNING’ nhằm tự động tính toán mô men quán tính J của hệ. Tuy nhiên, khi cho hoạt động thực tế

trong chế độ này chất lượng của hệ cũng không được cải thiện nhiều do J biến thiên liên tục như [66] trong khi thời gian cập nhật của chế độ AMT là 5 phút.

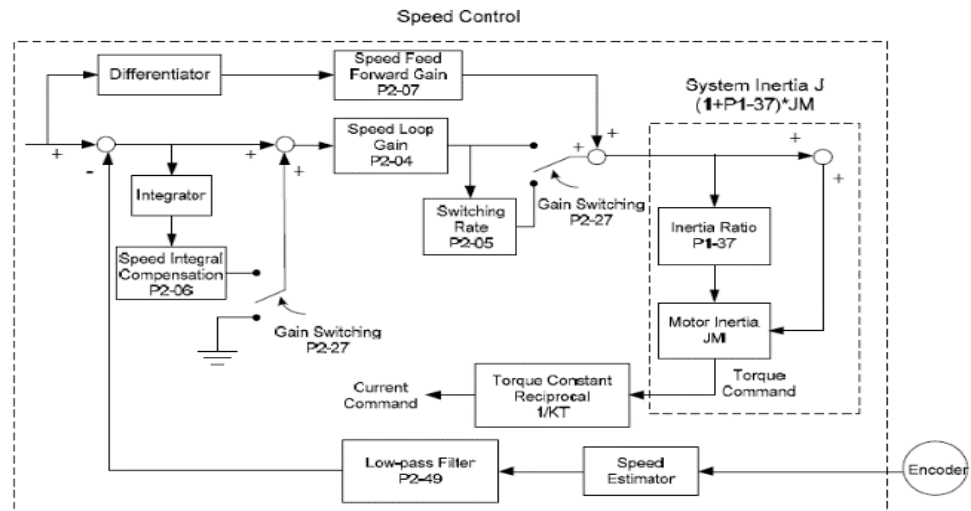
$$J = J_{DC} + \frac{J_i}{i^2} + \frac{m}{12gi^2} \left(\frac{L}{\sqrt{3}} \cos(\varphi_j) \right)^2 \quad (2.12)$$

Trong đó: J_{DC}, J_i là momen quán tính của động cơ, hộp số; m là tải trọng cabine; i là tỷ số truyền; g là gia tốc trọng trường; φ_j là góc nghiêng của đỉnh tam giác thứ j .

Ngoài ra, trong mạch vòng điều khiển vị trí tồn tại hai đầu vào là lượng đặt (setpoint) từ hệ thống máy tính mô phỏng 3D và nhiễu tải M_c . Hai đầu vào này đều là các tín hiệu ngẫu nhiên do phụ thuộc vào các chuyển động (roll, pitch, heave) của con tàu và số lượng người trên cabin mô phỏng. Theo [15], để giảm được sai số điều chỉnh do sự biến thiên của lượng đặt gây ra thì cấp vô sai của hệ hở phải lớn hơn cấp vô sai của lượng đặt một bậc.



a)



b)

Hình 2.26. Cấu trúc vòng lặp vị trí (a) và tốc độ (b) trong chế độ có Feedforward đầu vào

Tuy nhiên, cấp vô sai của lượng đặt cũng biến đổi ngẫu nhiên nên không dễ để thực hiện được giải pháp này. Mặt khác, đối với bộ điều khiển ASDA-B2 của Delta ta còn có phương án thứ hai là cài đặt cấu trúc Feedforward đầu vào bằng khâu vi phân cho hai vòng điều khiển vị trí (P2-02) và tốc độ (P2-07) như hình 2.26.

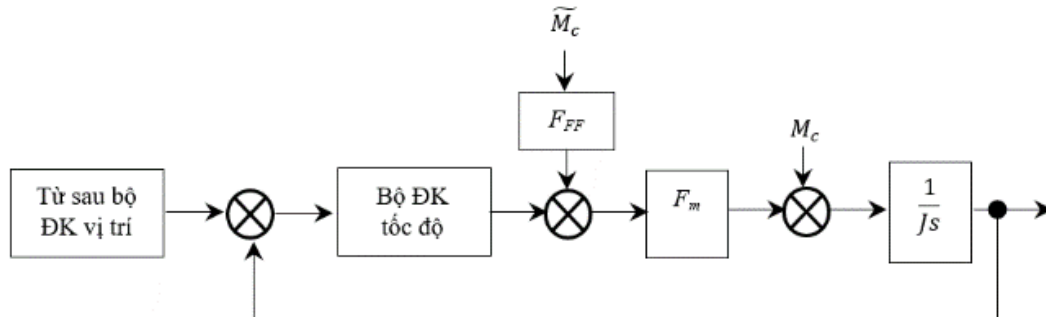
Tiếp theo, để khử sai lệch quỹ đạo do nhiễu tải gây ra các bộ Drive đều cho phép chúng ta thực hiện bằng mạch bù Feedforward hình 2.26b có dạng:

$$F_{FFW}(s) = \frac{\tilde{M}_c}{F_m}; \text{ với } F_m \approx \frac{K_m}{T_ms+1} \quad (2.13)$$

$$\tilde{M}_c = \frac{mL}{3i} \cos(\varphi_j) \pm \frac{\Delta M}{i} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt} \quad (2.14)$$

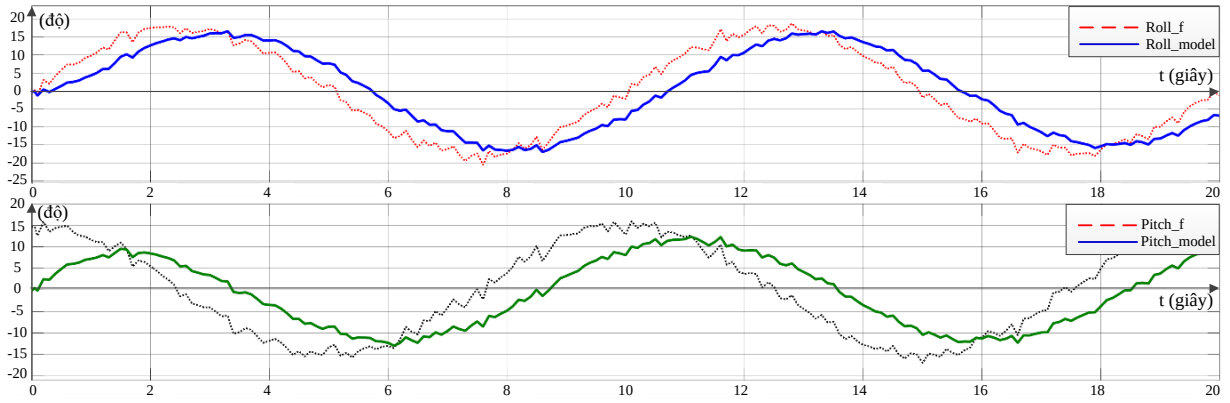
Trong đó: $\tilde{M}_c$ là mô men cân quy đổi; ΔM là thành phần mô men tổn thất của cơ cấu; F_m là hàm truyền đặt của mạch vòng điều khiển mô men, có thể xấp xỉ thành khâu quá tính bậc 1.

Việc tính toán $\tilde{M}_c$ rất khó khăn do sự biến thiên của tải trọng theo số lượng ngẫu nhiên của học viên trong cabine. Tuy nhiên, kết hợp với các thông số gửi đến từ máy tính chủ 3D ta có thể ước lượng gần đúng [8] trong chương trình PLC và sau đó chuyển giá trị $\tilde{M}_c$ cho Drive thông qua cổng RS485/Modbus RTU để bù sai số.



Hình 2.27 Sơ đồ mạch bù nhiễu tải Feedforward

Để kiểm chứng cài đặt cho các thuật toán điều khiển trên ta cho hệ thống hoạt động và thu thập dữ liệu từ PLC về máy tính bằng công cụ OPC toolbox trong Matlab/Simulink với OPC server là KEPServerEX 6. Tàu mô phỏng là loại TT400 có chiều dài 55m, chiều rộng 9.2m, mớn nước 2.6m và tải trọng là 429 tấn. Kết quả có được ở hình 2.28, trong đó giá trị từ máy tính chủ 3D đo được là đường nét đứt bao gồm góc quay lắc ngang (roll_f) hình trên và lắc dọc (pitch_f) hình dưới; giá trị góc quay bám theo của sàn cabine là roll_model và pitch_model là đường nét đậm.



Hình 2.28. Đặc tính đáp ứng bám theo các góc quay con tàu của sàn cabine

Qua kết quả trên, kết hợp với nhiều lần khảo sát và đo đạc ta nhận thấy đáp ứng chuyển động của sàn cabine luôn có độ trễ từ 500÷1500ms; biên độ max bám theo của sàn có sai số khoảng 12%. Điều này có thể giải thích được là do các khâu Feedforward chính xác rất khó để thực hiện nên đều xấp xỉ chúng dưới dạng khâu vi phân (hình 2.26), luôn tồn tại một khoảng thời gian trễ truyền thông tín hiệu từ máy tính chủ tới PLC và đồng thời việc tính toán mô men cản $\tilde{M}_c$, mô men quán tính J đều là gần đúng. Các nguyên nhân này rất khó khắc phục nếu ta không dùng một phương pháp mới khác.

2.7.2 Cải thiện chất lượng điều khiển vị trí bằng thuật toán dự báo số trên cơ sở PLC

Từ kết quả và phân tích nguyên nhân ở mục 2.7.1 ta thấy đây là các hạn chế phổ biến trong các hệ thống mô phỏng chuyển động (motion) hiện nay [13]. Để cải thiện được điều đó trong mục này NCS đề xuất sử dụng các thuật toán dự báo đơn giản. Việc ứng dụng các thuật toán dự báo hiện đại như MPC [15] hay mạng nơron nhân tạo sẽ được NCS nghiên cứu trong chương tiếp theo. Trong khuôn khổ phản ứng dụng PLC để thiết kế bộ điều khiển bám của mục này ta sẽ sử dụng thuật toán dự báo đơn giản trên cơ sở điều khiển số cho PLC vì trong một số ứng dụng cụ thể phương án này vẫn đem lại hiệu quả.

Từ chương 1, ta có phương trình động học tàu thủy 6 bậc tự do (DOF) có dạng:

$$\underline{\dot{\eta}}_1 = J_1(\eta_1)\underline{v}_1 \quad (2.15)$$

$$\underline{\dot{\eta}}_2 = J_2(\eta_2)\underline{v}_2 \quad (2.16)$$

Trong đó:

$$\underline{\eta}_1 = [x \quad y \quad z]^T; \underline{\eta}_2 = [\phi \quad \theta \quad \psi]^T$$

$$\underline{v}_1 = [u \quad v \quad w]^T; \underline{v}_2 = [p \quad q \quad r]^T$$

$J_1(\eta_1)$ và $J_2(\eta_2)$ là các ma trận chuyển đổi trực

Từ (2.15) và (2.16) ta có phương trình động học tàu thủy viết cho 3 biến trạng thái ϕ, θ, z như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p + q\sin(\phi)\tan(\theta) + r\tan(\phi)\tan(\theta) \\ q\cos(\theta) - r\sin(\phi) \\ -u\sin(\theta) + v\cos(\theta)\sin(\phi) + w\cos(\theta)\cos(\phi) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Từ (2.17) do vế trái là các đạo hàm nên ta có thể thiết kế các thuật toán dự báo để lập trình cho PLC gồm hai bước như sau:

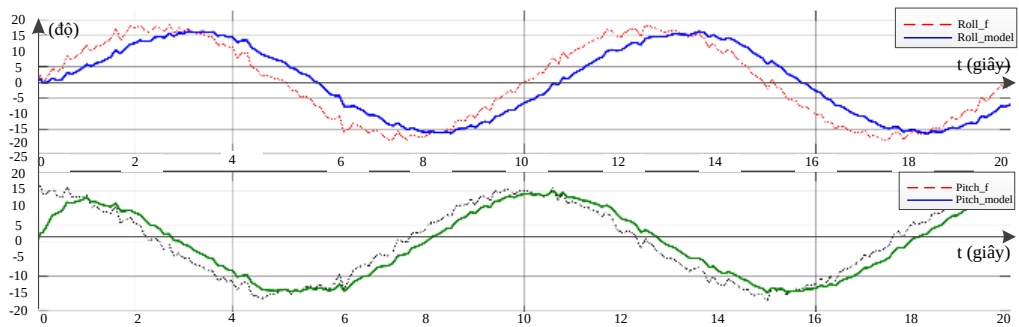
- Bước 1: Cập nhật các giá trị ở chu kỳ hiện tại từ máy tính chủ thông qua mạng Modbus TCP:

$$p(k), q(k), r(k), u(k), v(k), w(k), \phi(k), \theta(k), z(k)$$

- Bước 2: Dự báo các trạng thái lắc ngang, lắc dọc, trượt dọc $\phi(k+1), \theta(k+1), z(k+1)$ theo công thức (2.18) như sau:

$$\begin{bmatrix} \phi(k+1) \\ \theta(k+1) \\ z(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi(k) + p(k) + q(k)\sin(\phi(k))\tan(\theta(k)) + r(k)\tan(\phi(k))\tan(\theta(k)) \\ \theta(k) + q(k)\cos(\theta(k)) - r(k)\sin(\phi(k)) \\ z(k) - u(k)\sin(\theta(k)) + v(k)\cos(\theta(k))\sin(\phi(k)) + w(k)\cos(\theta(k))\cos(\phi(k)) \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Thời gian cắt mẫu T_s cho chu kỳ tính toán được chọn nằm trong dải 500÷1500ms. Sau khi lập trình, cài đặt vào hệ thống và thu thập dữ liệu ta được các đồ thị như hình 2.29 sau đây:



Hình 2.29 Đáp ứng bám theo các góc quay con tàu của sàn cabine khi sử dụng dự báo với $T_s = 500ms$

Kết quả trên cho thấy các góc quay của sàn cabine đã bám tốt hơn so với hình 2.28. Tuy nhiên, không được nhiều cải thiện về sai số và độ trễ. Ngoài ra, trong cả hai kết quả hình 2.29 các đường đặc tính đáp ứng đều có dao động ít hơn, chuyển động mượt hơn so với lượng đặt do đã được lọc thông qua vòng lặp điều khiển vị trí thực tế là khâu quá tính bậc một.

2.8 Kết luận chương 2

Trong chương 2, NCS đã nghiên cứu và ứng dụng phần mềm mô phỏng Unity3D để mô phỏng chuyển động tàu thủy trên cơ sở phương trình động học có được ở chương 1. Trong đó vế phải của phương trình $M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau_{RB}$ đã được mô phỏng thông qua module RigidBody và đưa vào mô hình tàu, vế phải được tách ra dưới dạng $\tau_{RB} = \tau - g(\eta)$ trong đó các thành phần lực nổi, lực và mô men thủy động lực học, lực và mômen tạo ra do tác động của các lực đẩy của chân vịt chính, chân vịt mũi, bánh lái, lực do tác động của môi trường như sóng, gió, dòng chảy... đều lần lượt được tính toán bằng các khối hàm và đưa vào vật thể là con tàu.

Khi mô hình mô phỏng 3D chuyển động tàu thủy hoạt động, NCS thực hiện thu thập tham số là các thành phần chuyển động 6 bậc tự do của tàu trong vector η . Tiếp theo để mô phỏng chuyển động bằng sàn treo cabin, NCS giới hạn lại chỉ sử dụng 03 tín hiệu chuyển động chính là lắc ngang, lắc dọc và trượt đứng (ϕ, θ, z) .

NCS đã nghiên cứu và xây dựng bộ điều khiển bám tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D bằng mô hình động học ngược chính xác 2.8 và 2.9 sau đó sử dụng mô hình động học thuận mô phỏng sử dụng thuật toán Newton-Raphson để kiểm tra đáp ứng bám tín hiệu. Ngoài ra, để hướng đến tính thực tiễn NCS ứng dụng thiết bị PLC để điều khiển các cơ cấu thực hiện của mô hình vật lý sàn treo. Trong đó, NCS đã đề xuất các phương án ghép nối giữa PLC và Drive, phương pháp thiết kế thuật toán điều khiển trên PLC và Drive để nâng cao chất lượng điều khiển bám tín hiệu mô phỏng. Tuy nhiên, đối với cả hai phương án sử dụng mô hình mô phỏng với thuật toán Newton-Raphson và mô hình sàn treo vật lý thật thì do tính chất thay đổi ngẫu nhiên của lượng đặt và nhiễu tải nên chất lượng bám tín hiệu vẫn bị trễ từ 500ms - 1500ms mặc dù đã sử dụng các phương pháp như Feedforward đầu vào, bù nhiễu tải, dự báo số. Vì vậy, hướng nghiên cứu trong chương tiếp theo sẽ là sử dụng các phương pháp điều khiển dự báo hiện đại để khắc phục các điểm còn tồn tại.

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO ỨNG DỤNG MẠNG NƠON NHÂN TẠO TRONG ĐIỀU KHIỂN SÀN TREO

3.1 Trí tuệ nhân tạo - AI và mạng nơon nhân tạo - ANN

Cho đến nay, kết quả của rất nhiều công trình đều cho thấy mạng nơon nhân tạo là một giải pháp tốt để nhận dạng phi tuyến, chẩn đoán sự cố hỏng hóc tiềm ẩn hoặc dự báo trạng thái. Vì vậy, NCS sẽ xây dựng mạng nơon phục vụ cho việc dự báo trước giá trị tham chiếu cho tổ hợp Drive/Server Motor. Trong mục này, NCS sẽ tìm hiểu về trí tuệ nhân tạo - AI, mạng nơon nhân tạo - ANN và nghiên cứu ứng dụng nó.

Trí tuệ nhân tạo (AI - Artificial Intelligence) là một khái niệm rộng và bao trùm, được gọi là trí thông minh nhân tạo, là trí thông minh được thể hiện bằng máy móc (hoặc máy tính), trái ngược với trí thông minh tự nhiên của con người. Thông thường, thuật ngữ “trí tuệ nhân tạo” thường được sử dụng để mô tả các máy móc (hoặc máy tính) có khả năng bắt chước các chức năng “nhận thức” mà con người thường phải liên kết với tâm trí, như “học tập” và “giải quyết vấn đề”. Công nghệ này mô phỏng những suy nghĩ và quá trình tiếp thu kiến thức của con người cho máy móc, đặc biệt là các hệ thống máy tính.

Cùng với máy học (Machine Learning), học sâu (Deep Learning) thì mạng nơon nhân tạo (ANN - Artificial Neural Networks) là một nhánh của AI, nó mô phỏng lại mạng nơon sinh học là một cấu trúc khối gồm các đơn vị tính toán đơn giản được liên kết chặt chẽ với nhau trong đó các liên kết giữa các nơon quyết định chức năng của mạng.

ANN là một mô hình xử lý thông tin phỏng theo cách thức xử lý thông tin của các hệ nơon sinh học. Nó được tạo nên từ một số lượng lớn các phần tử (gọi là phần tử xử lý hay nơon) kết nối với nhau thông qua các liên kết (gọi là trọng số liên kết) làm việc như một thể thống nhất để giải quyết một vấn đề cụ thể nào đó.

Các đặc trưng cơ bản của mạng nơon gồm: một tập các đơn vị xử lý (các nơon nhân tạo), các trạng thái kích hoạt hay đầu ra của đơn vị xử lý; hàm liên kết giữa các đơn vị. Xét tổng quát, mỗi liên kết được định nghĩa bởi một trọng số W_{ji} cho ta biết hiệu ứng mà tín hiệu của đơn vị j có trên đơn vị i . Một luật lan truyền quyết định cách tính tín hiệu ra của từng đơn vị từ đầu vào của nó. Hàm kích hoạt, hay hàm chuyển (activation function, transfer function), xác định mức độ kích hoạt khác dựa trên mức độ kích hoạt

hiện tại cùng với một đơn vị điều chỉnh (gọi là độ lệch, bias, offset) của mỗi hàm kích hoạt. Ngoài ra, đặc trưng cơ bản khác của mạng nơron là hình thành phương pháp thu thập thông tin và huấn luyện mạng (luật học - learning rule), bên cạnh đó là hình thành môi trường để hệ thống có thể hoạt động.

3.2 Các hình trạng của mạng nơron ANN và mạng truyền thẳng nhiều lớp MLP

3.2.1 Các hình trạng của mạng nơron

a. Mạng truyền thẳng (Feed forward neural network):

Trong mạng này dòng dữ liệu từ đơn vị đầu vào đến đơn vị đầu ra chỉ được truyền thẳng. Việc xử lý dữ liệu có thể mở rộng ra nhiều lớp, nhưng không có các liên kết phản hồi. Nghĩa là, các liên kết mở rộng từ các đơn vị đầu ra tới các đơn vị đầu vào trong cùng một lớp hay các lớp trước đó là không cho phép.

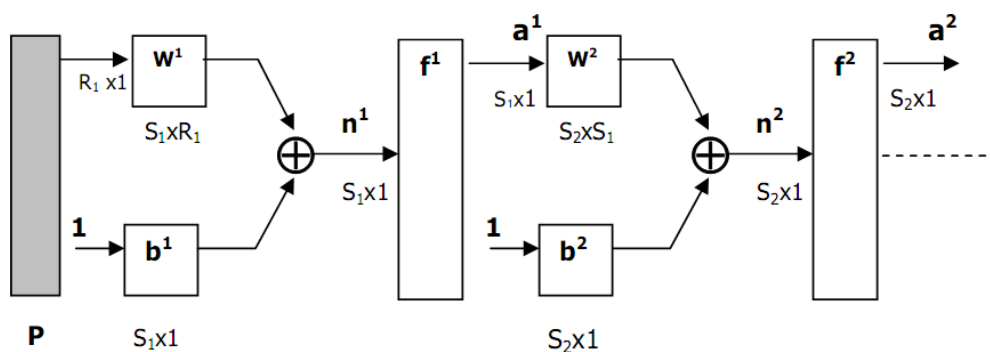
b. Mạng hồi quy (Recurrent neural network):

Trong mạng này có chứa các liên kết ngược. Khác với mạng truyền thẳng, các thuộc tính động của mạng mới quan trọng. Trong một số trường hợp, các giá trị kích hoạt của các đơn vị trải qua quá trình nói lỏng (tăng giảm số đơn vị và thay đổi các liên kết) cho đến khi mạng đạt đến một trạng thái ổn định và các giá trị kích hoạt không thay đổi nữa. Trong các ứng dụng khác mà cách chạy dạng động tạo thành đầu ra của mạng thì những sự thay đổi các giá trị kích hoạt là đáng quan tâm.

3.2.2 Mạng truyền thẳng nhiều lớp MLP

Để đơn giản và tránh hiểu nhầm, mạng truyền thẳng trình bày trong phần này là mạng truyền thẳng có nhiều lớp (MLP - Multi Layer Perceptron). Đây là một trong những mạng truyền thẳng điển hình, thường được sử dụng trong các hệ thống nhận dạng, dự báo và tác giả sẽ hướng đến sử dụng trong đề tài nghiên cứu này.

Một mạng truyền thẳng nhiều lớp bao gồm một lớp vào, một lớp ra và một hoặc nhiều lớp ẩn. Các nơron đầu vào thực chất không phải các nơron theo đúng nghĩa, bởi lẽ chúng không thực hiện bất kỳ một tính toán nào trên dữ liệu vào, đơn giản nó chỉ tiếp nhận các dữ liệu vào và chuyển cho các lớp kế tiếp. Các nơron ở lớp ẩn và lớp ra mới thực sự thực hiện các tính toán, kết quả được định dạng bởi hàm đầu ra (hàm chuyển). Cụm từ “truyền thẳng” (feed forward) không phải là trái nghĩa của lan truyền ngược, nó liên quan đến một thực tế là tất cả các nơron chỉ có thể được kết nối với nhau theo một hướng: tới một hay nhiều các nơron khác trong lớp kế tiếp (loại trừ các nơron ở lớp ra).



Hình 3.1 Mạng nơron truyền thẳng nhiều lớp MLP

Trong đó:

P : Vector đầu vào (vector cột)

W^i : Ma trận trọng số của các nơron lớp thứ i . ($S^i \times R^i$: S hàng (nơron) - R cột (số đầu vào))

b^i : Vector độ lệch (bias) của lớp thứ i ($S^i \times 1$: cho S nơron)

n^i : net input ($S^i \times 1$)

f^i : Hàm chuyển (hàm kích hoạt)

a^i : net output ($S^i \times 1$)

$\oplus$: Hàm tổng thông thường.

Mỗi liên kết gắn với một trọng số, trọng số này được thêm vào trong quá trình tín hiệu đi qua liên kết đó. Các trọng số có thể dương, thể hiện trạng thái kích thích, hay âm, thể hiện trạng thái kiểm chế. Mỗi nơron tính toán mức kích hoạt của chúng bằng cách cộng tổng các đầu vào và đưa ra hàm chuyển. Một khi đầu ra của tất cả các nơron trong một lớp mạng cụ thể đã thực hiện xong tính toán thì lớp kế tiếp có thể bắt đầu thực hiện tính toán của mình bởi vì đầu ra của lớp hiện tại tạo ra đầu vào của lớp kế tiếp. Khi tất cả các nơron đã thực hiện tính toán thì kết quả được trả lại bởi các nơron đầu ra. Tuy nhiên, có thể là chưa đúng yêu cầu, khi đó một thuật toán huấn luyện cần được áp dụng để điều chỉnh các tham số của mạng. Xét trường hợp mạng có hai lớp, công thức tính toán cho đầu ra như công thức 3.4 sau đây:

$$a^2 = f^2(W^2(f^1(W^1P + b^1)) + b^2) \quad (3.1)$$

Mạng có nhiều lớp có khả năng tốt hơn là các mạng chỉ có một lớp, chẳng hạn như mạng hai lớp với lớp thứ nhất sử dụng hàm sigmoid và lớp thứ hai dùng hàm đồng nhất có thể áp dụng để xấp xỉ các hàm toán học khá tốt, trong khi các mạng chỉ có một lớp thì không có khả năng này.

3.3 Ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo dạng MLP trong điều khiển sà n treo

Mạng nơ ron nhân tạo có thể sử dụng để giải bài toán dự báo, nhận dạng hư hỏng - bài toán phân loại (classification) một cách hiệu quả. Mạng mạch thẳng nhiều lớp là dạng phổ biến nhất do khả năng xấp xỉ các hoàn phi tuyến bất kỳ. Như đã giới thiệu ở các mục trên cấu trúc MLP bao gồm nhiều lớp kết nối với nhau theo mạch thẳng. Các nơ ron trong mạng được phân biệt với nhau thông qua vị trí của nó trong mạng. Nhóm nơ ron đầu vào là những nơ ron nhận thông tin từ môi trường bên ngoài vào trong mạng. Chúng có vị trí ngoài cùng “bên trái” và được nối với các nơ ron khác trong mạng từ “rẽ” đầu ra; Nhóm nơ ron được các nơ ron khác trong mạng kết nối tới thông qua đầu vào được gọi là nơ ron đầu ra (output layer). Những nơ ron đầu ra có vị trí ở ngoài cùng “bên phải” và có nhiệm vụ đưa tín hiệu của mạng ra bên ngoài; Những nơ ron còn lại không thuộc hai nhóm trên được gọi là nơ ron bên trong (hidden layer). Cũng như khi áp dụng cho bài toán xấp xỉ hàm, đối với bài toán phân loại, số lượng nơ ron ở lớp vào chính bằng số biến của dữ liệu (số chiều trong không gian trạng thái đa chiều). Số nơ ron ở lớp ra chính bằng số lớp trạng thái cần được phân loại. Ví dụ, nếu nhiệm vụ là phân loại các trạng thái tốt/trung bình/xấu, thì có ba nơ ron ở lớp ra. Trên tàu thủy hiện nay bài toán dự báo, phân loại (nhận dạng hư hỏng) sử dụng mạng nơ ron cũng đang được sử dụng rất phổ biến. Ví dụ, trong quá trình khai thác động cơ diesel tàu thủy, chẩn đoán trạng thái kỹ thuật, xác định hư hỏng các cụm chi tiết của động cơ là công việc vô cùng quan trọng đối với người khai thác. Trên cơ sở phân tích các thông số đo được của động cơ cho phép người khai thác đánh giá tình trạng hiện tại của động cơ. Để làm được điều này, cần đo các thông số công tác của động cơ như áp suất nén pc, áp suất cháy cực đại pz, góc phun sớm nhiên liệu ϕ_s , lượng tiêu hao nhiên liệu của động cơ, đồ thị công chỉ thị P-V...

Việc xây dựng một mô hình máy học trong đó đã tích hợp đầy đủ kiến thức chuyên gia và cho phép tự động dự báo trạng thái độ nghiêng, lắc dựa trên logic giống tư duy con người sẽ giúp cho công việc điều khiển được thuận lợi và chính xác hơn. Việc xây dựng mô hình dự báo, chẩn đoán trạng thái kỹ thuật thông qua nhận dạng góc quay sớm của động cơ servo dựa trên suy luận rằng các khi thực hiện điều khiển sớm góc quay của động cơ trên cơ sở dự báo trước xu hướng trạng thái nghiêng, lắc của sà n treo sẽ khắc phục được hiện tượng trễ của cơ cấu chấp hành. Khi ấy, mô hình sẽ dự báo

và nhận dạng đặc điểm trạng thái của sàn treo trước một khoảng thời gian nhất định kết hợp với giá trị đầu vào góc quay của động cơ servo ở trạng thái hiện tại.

Các bước sau cần phải thực hiện khi xây dựng mô hình dự báo sớm trạng thái góc quay của cơ cấu chấp hành:

- Tiến hành thực nghiệm trên mô hình sàn treo platform để thu thập dữ liệu độ nghiêng, lắc cũng như góc quay các động cơ servo tương ứng với các trạng thái sóng biển khác nhau;
- Xử lý dữ liệu trước khi sử dụng. Việc xử lý dữ liệu có thể bao gồm việc áp dụng các thuật toán lọc để loại bỏ nhiễu và sắp xếp dữ liệu theo dạng mạng nơ-ron nhân tạo có thể nhận dạng được;
- Xây dựng mạng nơ-ron nhân tạo bằng cách lựa chọn và huấn luyện mạng bằng dữ liệu đã có;
- Kiểm tra tính chính xác và sự phù hợp của mạng đã xây dựng cho bài toán nhận dạng;
- Sử dụng mạng để điều khiển sàn treo từ các dữ liệu mới được cấp từ mô hình mô phỏng.

Trong mô hình của đề tài luận án, dữ liệu đầu vào là các thông số góc quay, vị trí thẳng đứng của sàn treo cùng các tốc độ của nó tương ứng với các trạng thái sóng biển khác nhau. Dữ liệu đầu ra là các giá trị góc quay của động cơ servo. Khi sử dụng mạng để dự báo, mỗi một nơ-ron tại lớp vào của mạng sẽ ứng với một thông số đầu vào (góc và tốc độ góc roll, góc và tốc độ góc pitch, vị trí tương đối và tốc độ dài heave cùng với các giá trị trước đó t-k), mỗi một nơ-ron tại lớp ra sẽ ứng với một góc quay của động cơ servo. Số nơ-ron trong lớp ẩn tùy thuộc vào mức độ phức tạp của các quan hệ phi tuyến.

3.3.1 Bài toán dự báo trước giá trị tham chiếu cho tổ hợp Drive/Servo Mortor

Như đã giới thiệu ở mục trên, MLP là một giải pháp tốt để nhận dạng phi tuyến, chẩn đoán sự cố hỏng hóc tiềm ẩn hoặc dự báo trạng thái. Vì vậy, NCS sẽ xây dựng mạng MLP phục vụ cho việc dự báo trước giá trị tham chiếu cho tổ hợp Drive/Servo Mortor. Mạng MLP được sử dụng trong luận án này là một mạng MLP truyền thẳng có phân bố các lớp như sau: lớp đầu vào (12 nơ-ron ứng với 12 tín hiệu vào); lớp đầu ra (3 nơ-ron ứng với 03 tín hiệu ra) và các lớp ẩn. Số lượng lớp ẩn và số nơ-ron của nó sẽ được chọn dựa trên mô hình dự báo nào có sai số MAPE như công thức (3.4) là nhỏ nhất được trình bày chi tiết trong mục 3.3.3.

Đầu ra của mỗi nơ-ron có dạng như (3.2):

$$a^{m+1} = f^{m+1}(n^{m+1})$$

$$\text{Với: } n^{m+1} = w^{m+1}a^m + b^{m+1}; m = 0, 2, \dots, M - 1 \quad (3.2)$$

$$a^0 = p; a = a^M$$

Với bộ thông số đầu vào để luyện mạng là: $\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \dots, \{p_Q, t_Q\}$

Với vector sai số bình phương trung bình: $F(x) = E(e^T e) = E[(t - a)^T(t - a)]$ và có thể xấp xỉ dưới dạng (3.3) như sau:

$$F(x) = \left((t(k) - a(k))^T - (t(k) - a(k)) \right) = e^k(t). e(k) \quad (3.3)$$

Lớp đầu vào gồm có các nút tương ứng với 6 đầu vào là tín hiệu góc quay, vị trí và các giá trị tốc độ dài, tốc độ góc của nó như bảng 3.1. Ngoài ra, chọn các lớp đầu vào bổ sung 6 đầu vào quá khứ: $\eta(t - 1)$ và $v(t - 1)$ với

$$\eta = [\eta_1^T, \eta_2^T]^T; \eta_1 = [x, y, z]^T; \eta_2 = [\phi, \psi, \varphi]^T$$

v - Vector vận tốc dài, vận tốc góc trong hệ tọa độ cố định, được xác định bằng:

$$v = [v_1^T, v_2^T]^T; v_1 = [u, v, w]^T; v_2 = [p, q, r]^T$$

Bảng 3.1. Mô tả các thành phần chuyển động của sàn treo

1	Trượt dọc - Surge (Chuyển động theo trục X)	Sự dịch chuyển theo chiều dọc	x	Tốc độ dịch chuyển theo chiều dọc	u
2	Trượt đứng - Heave (Chuyển động theo trục Z)	Sự dịch chuyển thẳng đứng	z	Tốc độ dịch chuyển thẳng đứng	w
3	Trượt ngang - Sway (Chuyển động theo trục Y)	Sự lệch ngang	y	Tốc độ dịch chuyển ngang	v
4	Lắc ngang - Roll (Quanh trục X)	Góc nghiêng	ϕ	Vận tốc góc của lắc ngang	p
5	Lắc dọc - Pitch (Quanh trục Y)	Góc chênh	θ	Vận tốc góc lắc dọc	q
6	Quay trở - Yaw (Quanh trục Z)	Góc đảo lái	ψ	Vận tốc góc quay trở	r

Lớp đầu ra gồm 3 nút ra ứng ba giá trị dự báo của góc quay của 3 động cơ servo $\alpha = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3]^T$ để nhận được giá trị lắc ngang, lắc dọc, trượt đứng của sàn treo sớm hơn. Từ quá trình luyện mạng và kết quả nhận được thì lớp ẩn sẽ chọn bao gồm 10 nút.

Trong phương án này việc chẩn đoán, dự báo tương lai trước đạt được là 50ms đến 1500 ms dựa vào các dữ liệu tại thời điểm hiện tại và quá khứ. Mạng nơron MLP sẽ học được mối quan hệ này và kết quả sau khi học có thể được kiểm tra lại bằng bộ dữ liệu mẫu khác (test file). Để xác định sai số, sai số tuyệt đối phần trăm (APE) và sai số tuyệt đối trung bình phần trăm (MAPE) được sử dụng, và được định nghĩa như (3.4) sau đây:

$$APE = \left| \frac{gocthuc - gocdubao}{gocthuc} \right| * 100$$

$$MAPE = \frac{1}{N_h} \sum_1^{N_h} APE \quad (3.4)$$

Trong đó N_h là thời gian dự báo.

Giải thuật huấn luyện mạng MLP sử dụng kỹ thuật lan truyền ngược (Backpropagation). Giải thuật lan truyền ngược cho một giải pháp hiệu quả và đơn giản để tính toán đạo hàm của hàm mục tiêu theo trọng số và bias ở các tầng khác nhau. Trọng số và bias được tính và cập nhật ở bước thứ $k + 1$ như trong các công thức (3.5) đến (3.7) sau đây:

Lan truyền xuôi:

$$a^0 = p$$

$$a^{m+1} = f^{m+1}(w^{m+1}a^m + b^{m+1}); \quad m = 0, 2, \dots, m-1 \quad (3.5)$$

$$a = a^M$$

Lan truyền ngược:

$$s^M = -2F^M(n^M)(t - a)$$

$$s^m = -2F^m(n^m)(w^{m+1})^T s^{m+1}; \quad m = M-1, \dots, 2, 1 \quad (3.6)$$

Cập nhật trọng số và bias:

$$w^m(k+1) = w^m(k) - as^m(a^{m-1})^T$$

$$b^m(k+1) = b^m(k) - as^m \quad (3.7)$$

Tiêu chuẩn để dừng học đối với quá trình huấn luyện căn cứ vào sai số sinh ra bởi mạng, dựa vào sai số tuyệt đối phần trăm (APE) và sai số tuyệt đối trung bình phần trăm (MAPE). Sau khi đã huấn luyện, ta tiến hành kiểm tra sai số của mạng để chọn ra mạng tối ưu, phục vụ cho việc dự báo.

3.3.2. Xây dựng mạng nơron sử dụng công cụ Matlab/Nntool

a. Bộ công cụ ANN Toolbox

Các toolbox của MATLAB là một bộ sưu tập của m-file mà mở rộng các khả năng của MATLAB đến một số lĩnh vực kỹ thuật như hệ thống điều khiển, xử lý tín hiệu, tối ưu hoá, và ANN. Trong toolbox ANN version 3.0 [Mat99b], MATLAB cung cấp 12 hàm huấn luyện có hiệu suất cao. Một mạng ANN lan truyền ngược được dùng phổ biến. Một số các bàn luận về lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra như sau.

newff(PR,[S1 S2...SN],{TF1 TF2...TFNl},BTF,BLF,PF)

Trong đó:

PR -- R x 2 là ma trận tối thiểu và tối đa cho các phần tử đầu vào R

Si - là kích thước lớp i, for Nl layers

TFi - là hàm truyền của lớp thứ i, mặc định = 'tansig'. Hàm truyền TFi có thể là hàm truyền khả vi bất kỳ như tansig, logsig hoặc purelin.

BTF - là hàm huấn luyện mạng lan truyền ngược, mặc định = 'traingdx'. Hàm huấn luyện BTF có thể là bất kỳ hàm huấn luyện backprop nào như trainlm, trainbfg, trainrp, traingd, v.v.

BLF -- Hàm học trọng số/độ lệch lan truyền ngược, mặc định = 'learngdm'. Hàm học BLF có thể là một trong các hàm học lan truyền ngược như learngd hoặc learngdm.

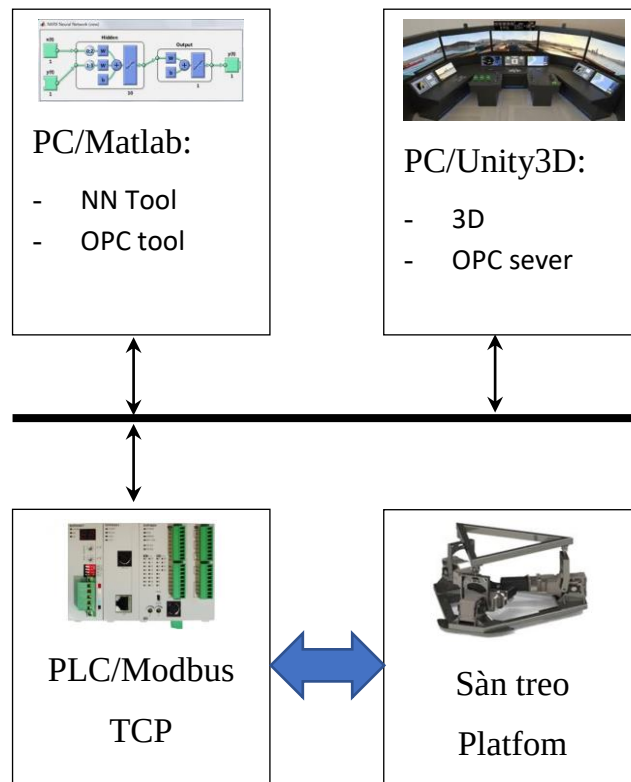
PF - là hàm mục tiêu, mặc định = 'mse'. Hàm mục tiêu có thể là bất kỳ hàm hiệu suất khả vi nào như mse hoặc msereg.

b. Đề xuất cấu trúc thực hiện

Quá trình luyện mạng: Cấu hình của hệ thống trong quá trình luyện mạng bao gồm dữ liệu đầu vào là các tín hiệu từ các cảm biến độ nghiêng roll, pitch, heave của sàn treo được thu thập tại PLC. Các tín hiệu này được truyền về máy tính PC/Matlab thông qua module OPC tool. Ngoài ra, dữ liệu của các góc quay động cơ servo cũng được thu thập bởi PLC và chuyển về phần mềm Matlab như là các dữ liệu đầu ra.

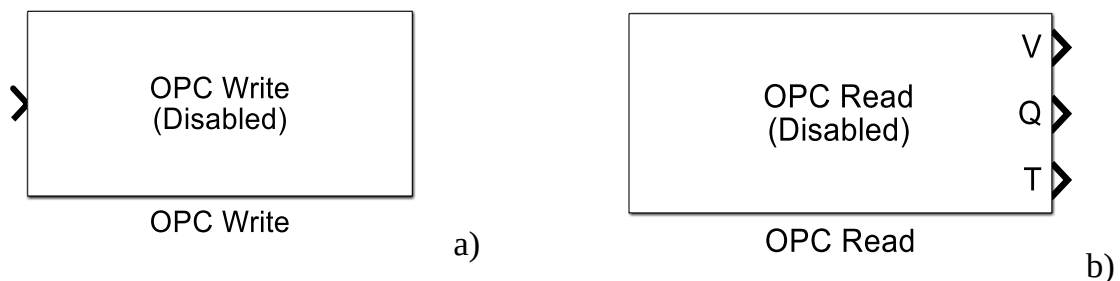
Quá trình vận hành: Cấu hình của hệ thống trong quá trình vận hành bao gồm dữ liệu đầu vào là các tín hiệu từ các độ nghiêng roll, pitch, heave tính được từ mô hình mô phỏng 3D của máy tính PC/Unity được cung cấp đến máy tính PC/Matlab với module ANN/MLP đã được học sẽ cung cấp ở đầu ra là các giá trị góc quay của động cơ servo đã được dự báo trước.

Đề xuất cấu trúc tích hợp module ANN vào hệ thống điều khiển sàn treo Platform như hình 3.2 dưới đây:

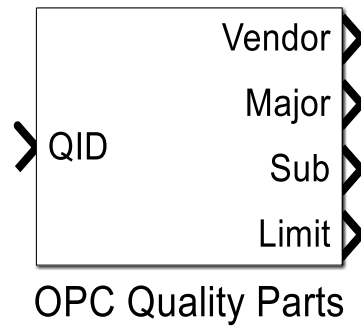


Hình 3.2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển sàn treo có tích hợp module ANN/MLP

Trong đó, việc thu thập dữ liệu và điều khiển trực tiếp sàn treo được thực hiện thông qua PLC; máy tính điều khiển giám sát sẽ trao đổi với PLC thông qua module OPC server, module này cung cấp dữ liệu cho phần mềm mô phỏng 3D đồng thời giao tiếp với phần mềm Matlab thông qua toolbox OPC. Máy tính cài đặt phần mềm Matlab/NN tool cài đặt thuật toán ANN/MLP, thực hiện luyện mạng và sẽ nhận dữ liệu đầu vào từ sàn treo sau đó thực hiện thuật toán đã học và đưa ra các quyết định dự báo cho máy tính để bộ điều khiển PLC đưa ra các tình huống xử lý sớm hơn. Công cụ OPC toolbox gồm có các thành phần trong hình 3.3, 3.4 sau đây:



Hình 3.3. Khối OPC Configuration để cấu hình kết nối a) Khối OPC Write để ghi dữ liệu thời gian thực đến PLC b) Khối OPC Read để đọc dữ liệu đến từ PLC



Hình 3.4. Khối OPC Quality Parts để giám sát chất lượng kết nối

c. Thu thập dữ liệu thời gian thực cho Matlab/NNtool

Khi nghiên cứu về điều khiển quá trình, sau khi đã tổng hợp được các bộ điều khiển ta sẽ tiến hành mô phỏng hệ thống trên Matlab/Simulink để kiểm chứng kết quả. Tuy nhiên, nếu chỉ dừng lại ở đó thì kết quả mô phỏng chưa đáp ứng được yêu cầu áp dụng thành quả nghiên cứu vào thực tiễn. Để lợi dụng được việc xây dựng các bộ điều khiển dễ dàng trên Matlab/Simulink nhưng đồng thời tận dụng được các thiết bị công nghiệp có sẵn trong phòng thí nghiệm mà vẫn đảm bảo được thực nghiệm hệ thống trên đối tượng thực, trong luận án giới thiệu bộ bộ công cụ OPC toolbox để làm cầu nối dữ liệu giữa Matlab/Simulink và thiết bị khả trình PLC. Kết quả cài đặt và thực nghiệm cho thấy phương án này rất hiệu quả và đảm bảo chất lượng tốt trong thực nghiệm các hệ điều khiển quá trình cần thời gian xử lý không quá nhanh.

Trong lĩnh vực điều khiển, khi nghiên cứu và xây dựng các bộ tự động điều chỉnh, điều khiển quá trình phần mềm Matlab/Simulink đóng vai trò rất lớn trong việc kiểm chứng kết quả thông qua mô phỏng offline. Tuy nhiên, khi mô phỏng thời gian thực (online) thì đòi hỏi người thiết kế phải trang bị thêm các module kết nối với máy tính PC/Matlab/Simulink mà thư viện Real-Time Windows Target của Malab hỗ trợ hoặc phải lập trình trên c hoặc .net.

Khi ta cấu hình hệ thống để chạy thời gian thực thì cho phép sử dụng phần cứng trong quá trình mô phỏng để thử bộ điều khiển. Điều này giúp chúng ta thay đổi linh hoạt thiết kế trong quá trình phát triển, giảm được chi phí và rút ngắn chu trình thiết kế.

Phương pháp sử dụng bộ công cụ “Real-Time Windows Target” có ưu điểm nổi bật là thời gian đáp ứng nhanh.

Với phương pháp sử dụng c hoặc .net đòi hỏi người thiết kế phải có khả năng lập trình chuyên sâu về ghép nối máy tính qua cổng ethernet, USB hoặc khe cắm mở rộng

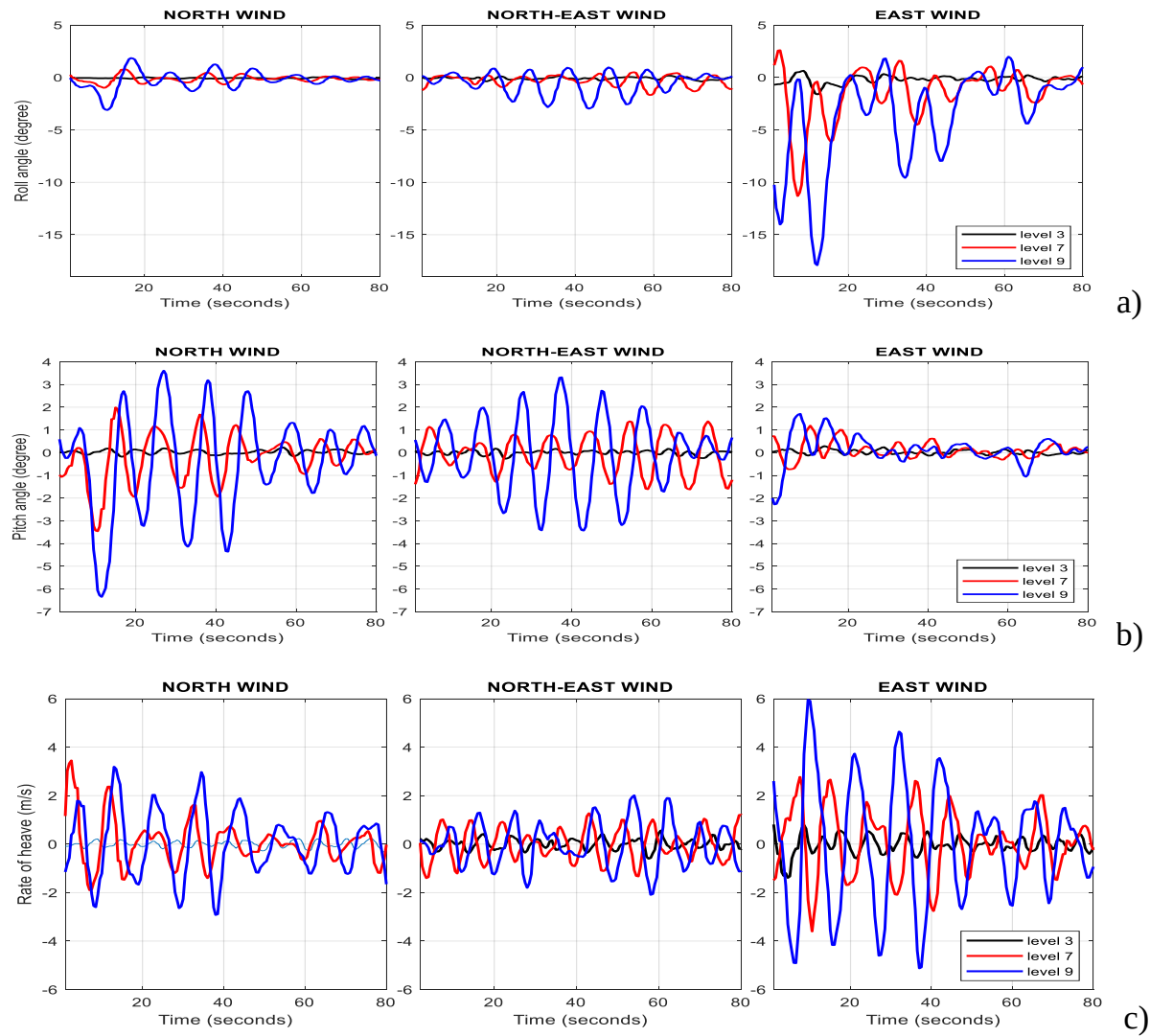
SPI. Với phương pháp sử dụng thư viện RealTime Windows Target thì phải có các module chuyên dụng. Các module này tìm mua trên thị trường thương mại tương đối khó khăn kèm theo giá thành lại cao đồng thời không hỗ trợ một số kết nối đặc biệt đến các sensor hay actualtor công nghiệp đặc thù. Do đó, để vừa sử dụng được các công cụ thiết kế bộ điều khiển rất đơn giản, tiện ích và đa dạng trong Matlab/Simulink và vừa có thể sử dụng các thiết bị điều khiển có sẵn và rất phổ biến như PLC, IED, biến tần, các bộ điều khiển nhiệt... trong các phương án thí nghiệm online thì giải pháp sử dụng bộ công cụ OPC toolbox là một lựa chọn hàng đầu. Trong giải pháp này, OPC được xem như một giao diện dữ liệu trung gian qua mạng ethernet TCP/IP, nó như là cây cầu liên kết dữ liệu giữa môi trường lập trình Matlab/Simulink với các thiết bị ngoại vi là PLC.

3.3.3 Huấn luyện mạng trong Matlab/NNtool

Dữ liệu sử dụng để huấn luyện mạng được cấp từ PLC vào phần mềm Matlab bằng công cụ OPC tool/OPC Server: KEPServerEX 5. Trên hình 3.5 là minh họa về những dữ liệu chuyển động trên ba trục (roll, pitch và rate of heave) của sàn treo, những dữ liệu sẽ được xử lý để có được 1207 bản ghi dữ liệu của hệ thống mô phỏng buồng lái với nhiều kịch bản thử nghiệm (cấp sóng khác nhau) để huấn luyện cho mạng nơ-ron. Các bản ghi này được chọn lọc để ra các mẫu có tín hiệu tham chiếu các thời điểm trước là 50ms - 1500ms.

Như đã số những bài toán xây dựng mô hình dự báo sử dụng mạng nơ-ron, NCS sẽ lấy 80% dữ liệu của 1207 bản ghi, 20% dữ liệu còn lại để sử dụng cho việc thử nghiệm mô hình (testing). Như vậy, dữ liệu đầu vào và đầu ra để huấn luyện mạng sẽ là hai bảng dạng file excel và có kích thước tương ứng là *INPUT80*: <966x12 double> và *OUTPUT80*: <966x3 double>. Trong khi đó dữ liệu được sử dụng để thử nghiệm mô hình đã huấn luyện sẽ là hai bảng *INPUT20*: <241x12 double> và *OUTPUT20*: <241x3 double> cơ sở dữ liệu theo Phụ lục 1 và 2. Các bảng này sẽ được nhập (import) vào Workspace của Matlab để sử dụng.

Các thông số chỉnh để huấn luyện mạng được thể hiện như trong bảng 3.2. Trong nhiều nghiên cứu về mạng nơ-ron đã chỉ ra rằng số lớp ẩn và số nơ-ron trong mỗi lớp ẩn tối ưu sẽ phụ thuộc vào từng bộ dữ liệu. Bởi vậy, NCS huấn luyện 20 mô hình với số lớp ẩn khác nhau (1, 2, 3, 4, 5) số nơ-ron trong mỗi lớp cũng thay đổi (5, 10, 15, 20) để chọn ra mô hình có sai số trung bình tuyệt đối MPEA (tính theo công thức 3.4) là nhỏ nhất.



Hình 3.5. Dữ liệu mẫu để luyện mạng nơron a) Chuyển động roll; b) Chuyển động pitch; c) Chuyển động heave

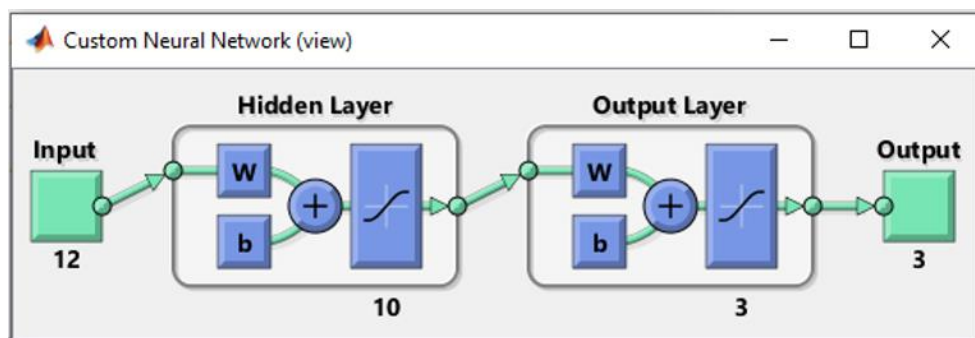
Bảng 3.2. Các thông số chính để huấn luyện mạng

Parameter	Value
Hàm huấn luyện	Levenberg-Marquardt backpropagation
Hàm truyền của lớp đầu vào và lớp ẩn	tansig
Hàm truyền của lớp đầu ra	purelin
Hàm lỗi	Mean squared error
Tốc độ học	0.001
Số lần luyện tối đa	5000
Mục tiêu	0.
Số lớp ẩn	1 ÷ 5 (bước: 1 lớp)
Số nơ ron trong mỗi lớp ẩn	5:5:20 (bước: 5 nơ-ron)

Dưới đây là code lệnh xử lý dữ liệu và luyện mạng trong Matlab với 01 lớp ẩn và 10 nơ-ron trong lớp ẩn đó.

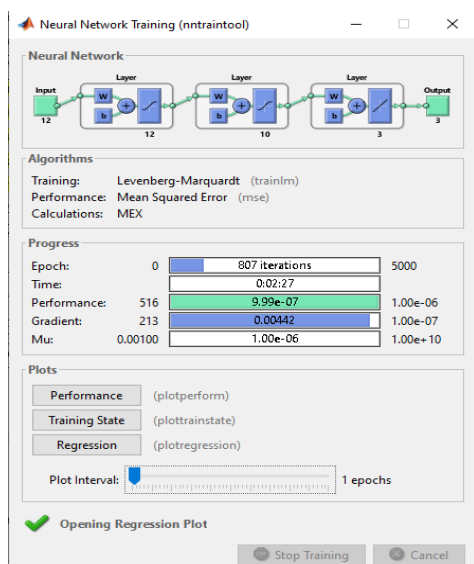
```
in_data=table2array(INPUT80);
out_data=table2array(OUTPUT80);
input = in_data';
output = out_data';
%MLP1X là tên của mạng nơ-ron
MLP1X = newff(minmax(input),[12 10 3],{'tansig' 'tansig'
'purelin'},'trainlm');
MLP1X.trainParam.epochs = 5000;
MLP1X.trainParam.lr = 0.0001;
MLP1X.trainParam.goal = 0.000001;
MLP1X = train(MLP1X,input,output);
%Tạo khối mạng nơ-ron sử dụng trong Simulink
gensim(net,0.1);
```

Khi huấn luyện 20 mô hình với số lớp ẩn và số nơ-ron khác nhau, NCS đã chọn ra được mô hình với 01 lớp ẩn và 10 nơ-ron là mô hình có sai số trung bình tuyệt đối nhỏ nhất khi thử với 20% dữ liệu còn lại (241 bản ghi) của bộ dữ liệu tổng 1207 bản ghi. Bộ dữ liệu tổng huấn luyện mạng được thể hiện trong phần phụ lục.

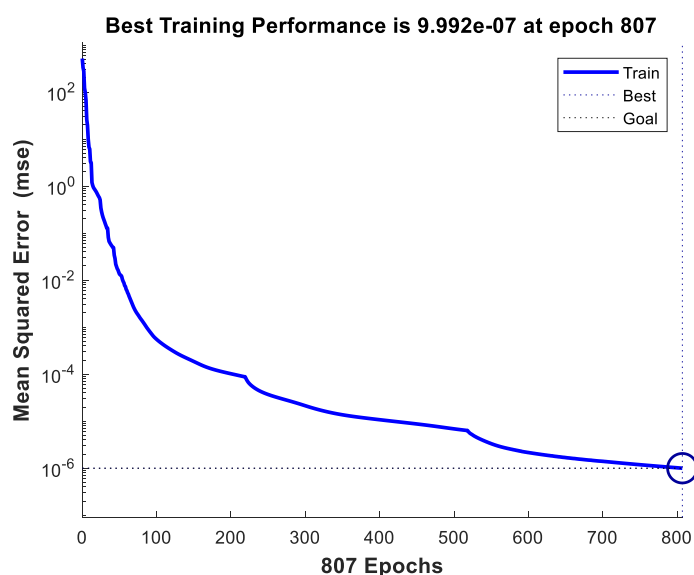


Hình 3.6. Sơ đồ cấu trúc mạng nơ-ron được chọn với 01 lớp đầu vào (12 nơ-ron), 01 lớp ẩn (10 nơ-ron) và 01 lớp ra (03 nơ-ron)

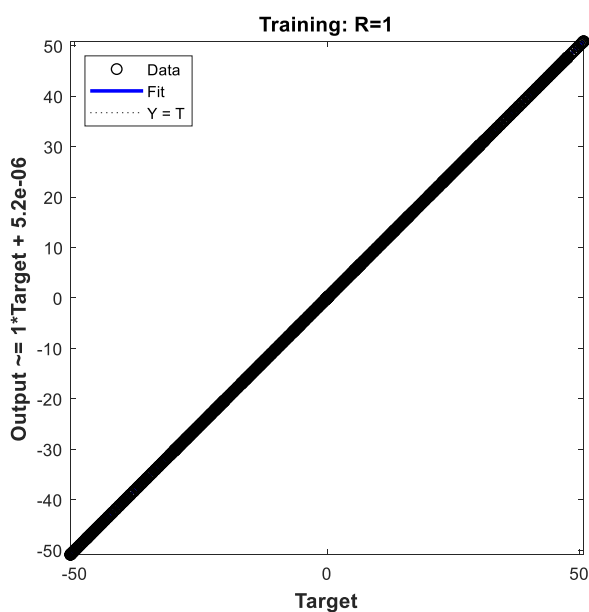
Trên hình 3.7 là cửa sổ trạng thái trong quá trình huấn luyện mạng. Trong khi đó, hình 3.8 thể hiện giá trị của sai số MSE trong suốt quá trình luyện mạng với 01 lớp ẩn (10 nơ-ron). Mạng đạt lỗi huấn luyện mục tiêu (0.001) sau 807 bước lặp. Hệ số hồi quy khi luyện mạng R=1 (hình 3.9) cho thấy mạng hội tụ rất tốt.



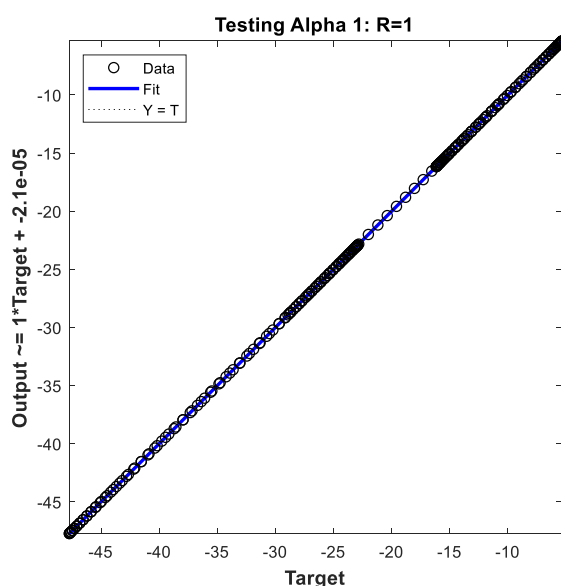
Hình 3.7 Cửa sổ trạng thái quá trình huấn luyện mạng



Hình 3.8. Đặc tính sai số MSE của quá trình huấn luyện mạng

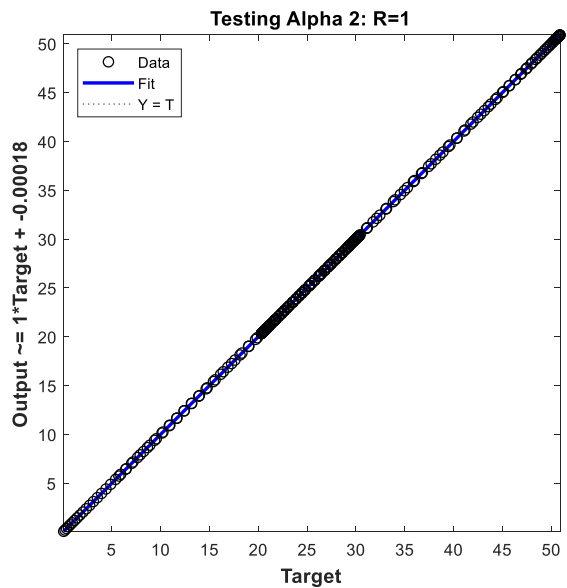


Hình 3.9. Đường hồi quy huấn luyện mạng

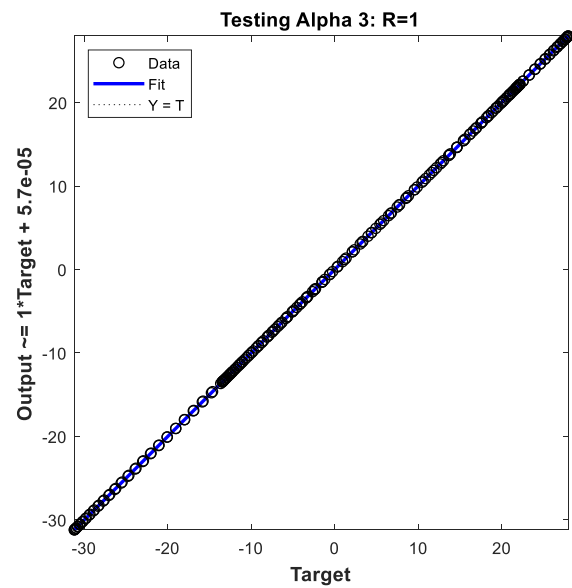


Hình 3.10. Đường hồi quy khi thử nghiệm mạng với đầu ra alpha 1

Với các đầu vào của 20% bản ghi còn lại của bộ dữ liệu tổng sẽ được sử dụng làm đầu vào cho mô hình đã huấn luyện. Đầu ra dự báo của mô hình đã huấn luyện sẽ được so sánh với đầu ra tương ứng trong 20% bản ghi còn lại để so sánh độ tương quan. Kết quả các đường quy khi thử nghiệm với 03 đầu ra (alpha 1, alpha 2 và alpha 3) được thể hiện trên các hình 3.10, 3.11, 3.12. Ta thấy rằng, với cả 03 đầu ra, hệ số hồi quy R đều bằng 1, điều đó cho thấy chính xác và tin cậy của mô hình đã huấn luyện.

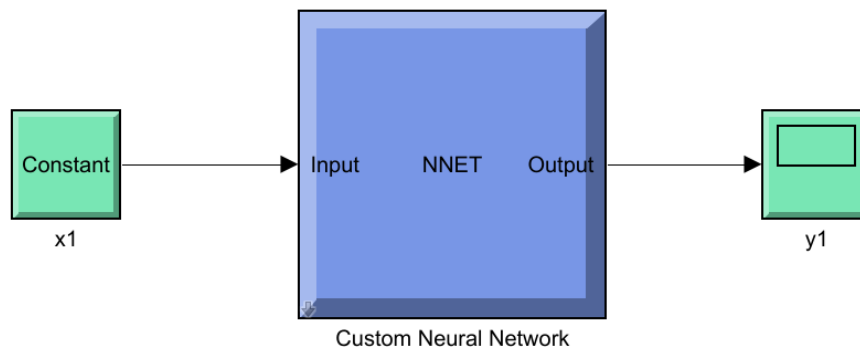


Hình 3.11. Đường hồi quy khi thử nghiệm mạng với đầu ra alpha 2



Hình 3.12. Đường hồi quy khi thử nghiệm mạng với đầu ra alpha 3

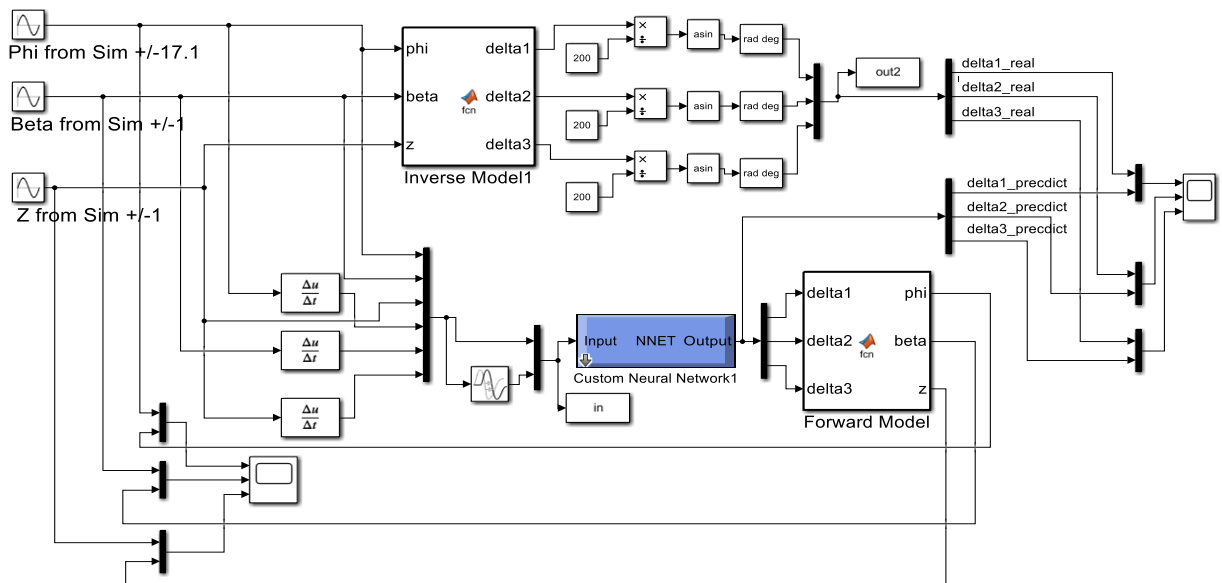
Kết quả sau quá trình luyện mạng thì các trọng số W_{ji} và các ngưỡng hay độ lệch (bias) θ_j của mạng được cập nhật và ta có sơ đồ cấu trúc mạng nơ ron với 12 đầu vào, 10 nút ẩn và 3 lớp đầu ra như hình 3.13. Mô hình này sẽ đượ sử dụng trong phần mềm Simulink để nhận dạng dữ liệu vào mới khi điều khiển sà n treo.



Hình 3.13. Khối mạng nơ ron đã hình thành trong môi trường Simulink để sử dụng

3.3.4 Xây dựng kịch bản mô phỏng với mô hình Newton-Raphson

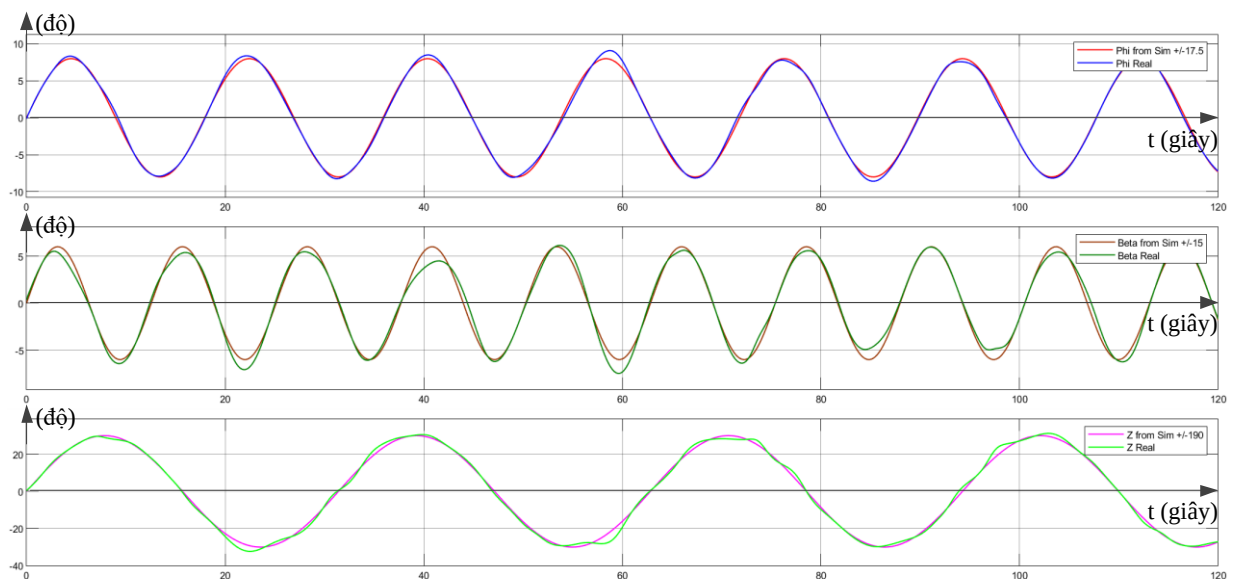
Kịch bản mô phỏng bộ dự báo ANN được thực hiện theo trình tự: trước tiên cho từng chuyển động hoạt động và không chế hai chuyển động còn lại; sau đó cho chuyển động hỗn hợp cả 3 chuyển động khi con tàu chịu tác động của sóng biển. Sơ đồ cấu trúc mô phỏng sau khi ghép khối mạng nơ ron hình 3.13 vào hệ thống ta được hình 3.14 dưới đây.



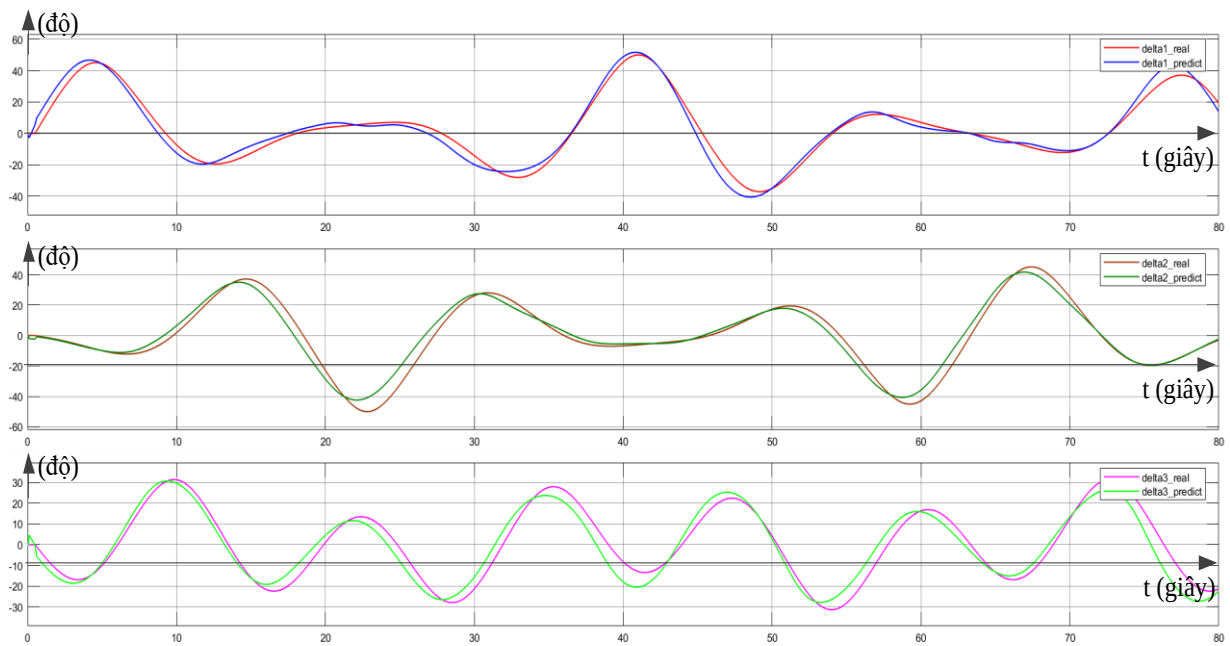
Hình 3.14 Sơ đồ khối mô phỏng có sử dụng mạng nơ ron nhân tạo

Kết quả tính toán thông số dự báo góc lắc ngang (Gain/màu xanh) và giá trị góc thực tế (Roll_f/màu đỏ), dự báo góc lắc dọc (Gain1/màu xanh) và giá trị góc thực tế (Pitch_f/màu đỏ) của bộ dữ liệu kiểm tra được chỉ ra trên hình 3.15.

Kết quả mô phỏng kiểm chứng ở hình 3.15 chỉ ra đặc tính các dữ liệu đầu vào và dữ liệu đầu ra tại các thời điểm lân cận tín hiệu tham chiếu ϕ , θ , z . Đáp ứng đầu ra của mạng nơron và đầu ra tham chiếu cho thấy sai số giữa giá trị tính toán bởi mô hình và giá trị thực tế không vượt quá 12% và tính thời gian thực của hệ đạt không còn trễ đến 50ms.



Hình 3.15. Đặc tính mô phỏng đáp ứng tín hiệu ra ϕ (lắc ngang), θ (lắc dọc) và chuyển động trượt dọc trục thẳng đứng là z khi có mạng Noron



Hình 3.16. Đặc tính mô phỏng tín hiệu đầu vào điều khiển động cơ servo α_1 , α_2 , α_3 khi có mạng Noron

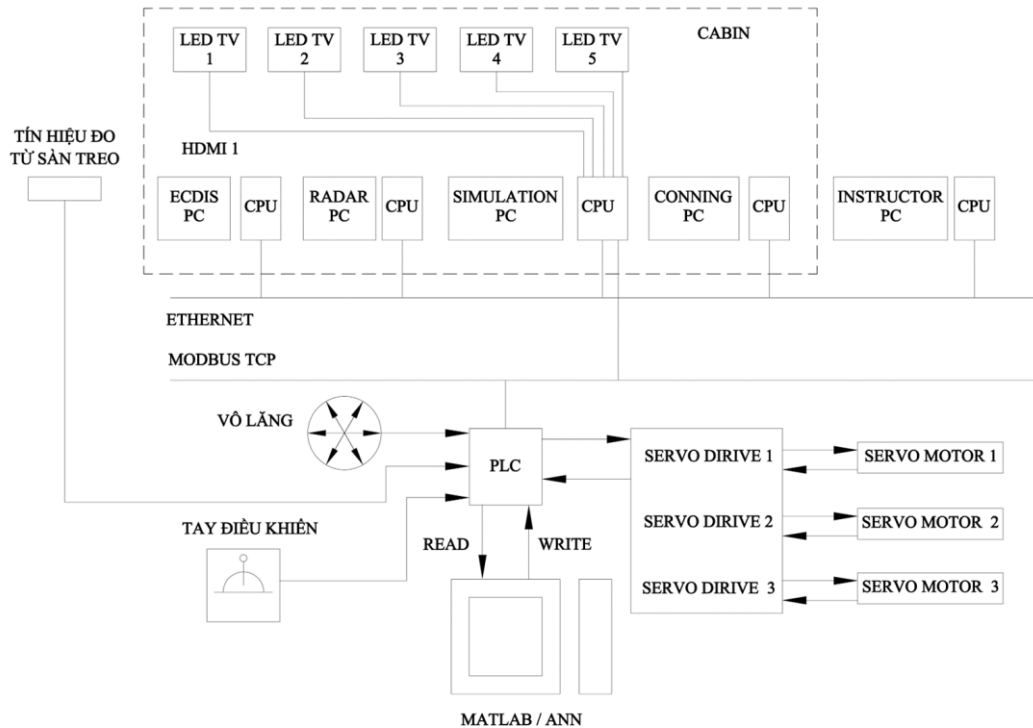
Hình 3.16 cho ta thấy đối với các tín hiệu điều khiển 03 động cơ servo $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3]^T$ đã được dự báo và có pha luôn vượt trước các tín hiệu điều khiển động cơ servo mà ta có được từ mô hình động học ngược, thời gian vượt trước có thời điểm lên tới 1200ms.

Nhận xét kết quả:

NCS đã đề xuất các phương án điều khiển nhằm làm giảm trễ của mô hình sản treo 3 bậc tự do, trong đó phương án sử dụng bộ dự báo trên cơ sở mạng nơ ron nhân tạo dạng nhiều lớp truyền thẳng MLP cho kết quả mô phỏng rất khả quan. Nó đã khắc phục và cải thiện được rất nhiều về chất lượng bám tín hiệu ở hai yếu tố chính xác và độ trễ so với phương án sử dụng mô hình động học ngược hoặc can thiệp và vòng kín điều khiển vị trí như ở chương 2. Tuy nhiên, kết quả mới chỉ được kiểm chứng bằng mô phỏng dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson có ứng dụng MLP so với tín hiệu ban đầu được mô phỏng lấy từ máy tính PC server chạy mô hình 3D. Trong các mục tiếp theo NCS sẽ tiến hành xây dựng mô hình vật lý để thực nghiệm kiểm chứng kết quả nhằm đánh giá chất lượng điều khiển bám so với mô phỏng. Do khối lượng công việc thiết kế chế tạo phần cứng rất lớn nên các mục dưới đây tác giả chỉ trình bày một số công đoạn cơ bản trong quá trình đó.

3.4. Sơ đồ kết nối dữ liệu của hệ thống mô phỏng hàng hải

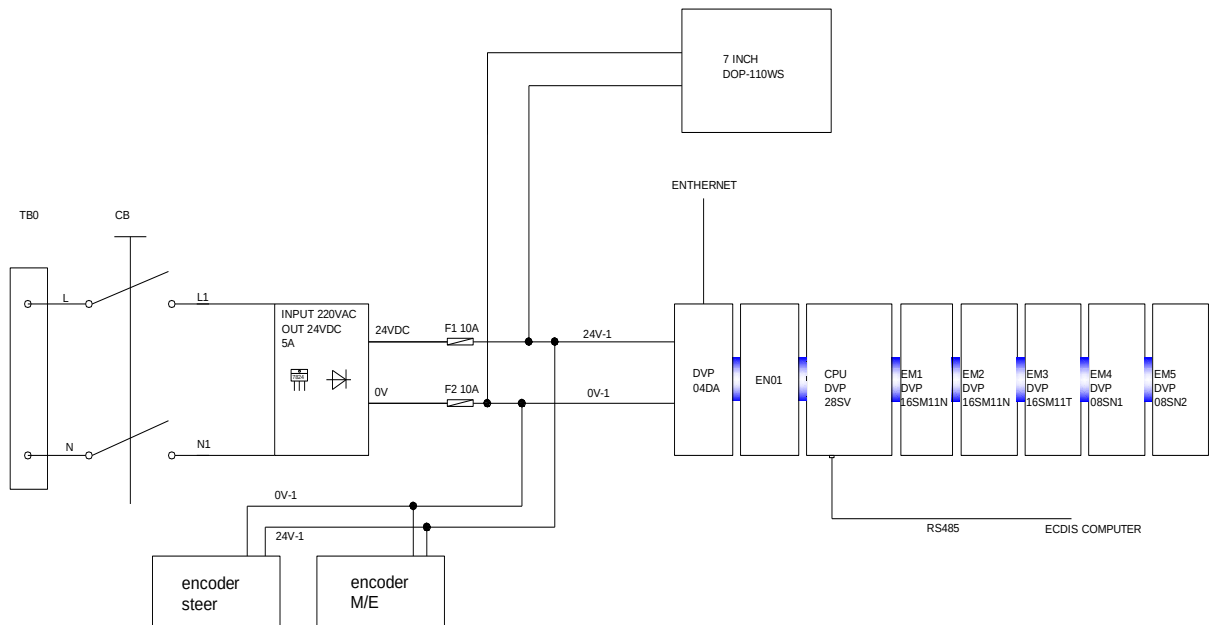
Trên cơ sở đề xuất cấu trúc của hệ thống mô phỏng hàng hải và mô hình mô phỏng chuyển động 3DOF tàu thủy ở chương 2 để tiến hành xây dựng mô hình vật lý. Cụ thể, thực tế cấu trúc mạng của hệ thống mô phỏng hàng hải sẽ được xây dựng bổ sung thêm một số thành phần như hình 3.17.



Hình 3.17 Cấu trúc mạng của hệ thống mô phỏng hàng hải

Trong đó, bổ sung thêm bộ cảm biến để đo các tín hiệu nghiêng, lắc và trượt đứng từ sàn treo; bổ sung thêm một máy tính chạy bộ dự báo ANN trên Matlab/Simulink. Cả hai bộ phận này đều được kết nối tín hiệu tới PLC. Để nhận nhiệm vụ thu thập tất cả các dữ liệu từ các thiết bị trên tàu như hệ thống lái, buồng máy cũng như các thiết bị hàng hải khác trên tàu, NCS đã sử dụng bộ điều khiển trung tâm PLC, nó giúp đáp ứng yêu cầu đặt ra và thực hiện các lệnh điều khiển, giám sát.

PLC đảm nhận nhiệm vụ thu thập tất cả các dữ liệu thu thập được từ các thiết bị trên tàu như hệ thống lái, buồng máy cũng như các thiết bị hàng hải khác trên tàu và thực hiện các lệnh điều khiển, giám sát. Sơ đồ khối nguyên lý kết nối cấp nguồn cho PLC được thể hiện như hình 3.18.



Hình 3.18 Sơ đồ khối cấp nguồn cho PLC điều khiển

Trong đó:

- ADC: có chức năng biến đổi nguồn xoay chiều 220V sang nguồn 1 chiều 24VDC;
- CB: là Aptomat cấp nguồn cho bàn điều khiển;
- Encoder Steer: Vô lăng được nối đồng trục với encoder để lấy tín hiệu góc bẻ lái cho tàu;
- Encoder M/E: tay chạc được nối với encoder để tạo tín hiệu điều khiển tốc độ máy chính cho con tàu;
- F1; F2: Là các cầu chì để bảo vệ ngắn mạch;
- DOP-107G: màn hình cảm ứng 7 inch được kết nối với bộ điều khiển trung tâm PLC để hiển thị các thông tin đa chức năng như chỉ báo góc bẻ lái, vị trí vô lăng, các chế độ lái, danh sách báo động, danh sách lịch sử báo động...
- DVP04-DA: là module mở rộng loại mở rộng bên trái có 4 kênh đầu ra tương tự từ -10VDC ÷ +10VDC để xuất tín hiệu điều khiển các đồng hồ bao gồm đồng hồ chỉ báo góc lái và đồng hồ chỉ báo tốc độ của máy chính, đồng hồ chỉ báo tốc độ chân vịt;
- EN01: là module mở rộng loại mở rộng bên trái và có chức năng thêm cổng truyền thông Ethernet cho PLC.
- CPU-DVP28SV: Bộ xử lý trung tâm PLC có cổng truyền thông RS485, RS232, có chức năng thu thập các tín hiệu từ các thiết bị hàng hải để truyền thông tới máy tính

công nghiệp chạy phần mềm hải đồ điện tử. Ngoài ra nó còn xuất tín hiệu điều khiển ra module DVP04-DA để điều khiển các đồng hồ;

- EM1-DVP16SM11N: Module mở rộng 16 đầu vào số nhận tín hiệu từ hai encoder Steer, encoder M/E;
- EM2-DVP16SM11N: Module mở rộng 16 đầu vào số nhận tín hiệu khởi động, dừng máy lái và một số tín hiệu khác. Đồng thời, module còn nhận tín hiệu phản hồi từ các bộ điều khiển động cơ (Driver Servo).
- EM3-DVP16SM11T: Module mở rộng 16 đầu ra transistor để đưa tín hiệu điều khiển các đèn chỉ báo như chỉ báo máy lái, sự cố, và còi cảnh báo;
- EM4, EM5-DVP08SN: là module mở rộng 8 đầu ra để đưa tín hiệu điều khiển servo như start, reset, stop;

3.4.1 Giao diện dữ liệu của PLC với vô lăng, tay trang và bộ đo tín hiệu sàn treo

Module giao diện dữ liệu của PLC có nhiệm vụ giao diện trực tiếp với người vận hành và gửi tín hiệu điều khiển từ người vận hành đến bộ điều khiển trung tâm PLC. NCS sử dụng Encoder tuyệt đối mã hiệu EP500S8-1024-3F-P-24 để xử lý tín hiệu 11 vị trí của tay trang cũng như truyền tín hiệu vị trí từ vô lăng lái về bộ điều khiển trung tâm, với cảm biến tín hiệu sàn treo tác giả sử dụng loại 3 trục loại QK- AS08 như hình 3.19.



a)



b)

Hình 3.19. Cảm biến tín hiệu sàn treo 3 trục loại QK- AS08 a) và encoder gắn vào tay trang điều khiển b)

Trong đó, từ CPU-X0 đến EM1-X21 của PLC nối tới Encoder của vô lăng điều khiển góc bẻ bánh lái. Từ EM1-X22 đến EM1-X33 của PLC nối tới Encoder của tay

trang điều khiển tốc độ của máy chính. Cổng RS485 của PLC nối tới cảm biến QK-AS08 theo chuẩn NMEA0183.

3.4.2 Giao diện dữ liệu của PLC với panel điều khiển máy chính, máy lái, neo, chân vịt mũi

Module vào/ra dữ liệu của PLC kết nối tới hai panel: Panel điều khiển máy chính và panel điều khiển máy lái, cho nên để có thể chế tạo chính xác, đảm bảo độ tin cậy cho module module vào/ra dữ liệu, trước hết, phải xác định chuẩn các đầu vào/ra. Panel điều khiển máy chính và chân vịt mũi bao gồm các tín hiệu đèn tín hiệu, bao gồm: đèn báo lỗi điều khiển từ xa, đèn báo động sự cố, nút dừng sự cố, đèn báo động giảm tốc, nút ấn thả neo, nút ấn thu neo, nút ấn khởi động chân vịt mũi, nút ấn dừng chân vịt mũi, đèn báo sự cố chân vịt mũi. Đầu vào/ra của panel điều khiển máy chính được cho trong Bảng 3.3 dưới đây.

Bảng 3.3 Các đầu vào/ra của panel điều khiển máy chính

Stt	Tên tín hiệu	Loại tín hiệu	Ghi chú
1	Đèn báo lỗi điều khiển từ xa	Digital output	
2	Đèn báo động sự cố	Digital output	
3	Đèn báo động giảm tốc	Digital output	
4	Đèn báo thu neo	Digital output	
5	Đèn báo thả neo	Digital output	
6	Đèn báo KD chân vịt mũi	Digital output	
7	Đèn báo dừng chân vịt mũi	Digital output	
8	Đèn báo sự cố chân vịt mũi	Digital output	
9	Nút ấn dừng sự cố	Digital input	
10	Nút ấn thả neo	Digital input	
11	Nút ấn thu neo	Digital input	
12	Nút ấn khởi động chân vịt mũi	Digital input	
13	Nút ấn dừng chân vịt mũi	Digital input	

Các tín hiệu vào/ra của panel điều khiển máy lái bao gồm các tín hiệu đèn và nút ấn, bao gồm: đèn báo van điện từ trái mở, đèn báo van điện từ phải mở, đèn báo động lái 1, đèn báo động lái 2, đèn báo máy lái 1 chạy, nút khởi động máy lái 1, đèn báo máy lái 2 chạy, nút khởi động máy lái 2, nút dừng máy lái 1, nút dừng máy lái 2, nút thử đèn, còi. Đầu vào/ra của panel điều khiển máy lái được cho trong Bảng 3.4 dưới đây.

Bảng 3.4 Các đầu vào/ra của panel điều khiển máy lái

Stt	Tên tín hiệu	Loại tín hiệu	Ghi chú
1	Đèn báo van điện từ trái mở	Digital output	
2	Đèn báo van điện từ phải mở	Digital output	
3	Đèn báo động lái 1	Digital output	
4	Đèn báo động lái 2	Digital output	
5	Đèn báo máy lái 1 chạy	Digital output	
6	Nút khởi động máy lái 1	Digital input	
7	Đèn báo máy lái 2 chạy	Digital output	
8	Nút khởi động máy lái 2	Digital input	
9	Nút dừng máy lái 1	Digital input	
10	Nút dừng máy lái 2	Digital input	
11	Nút thử đèn, còi	Digital input	

Ngoài ra, panel bàn điều khiển còn có một số đầu vào ra như sau: Công tắc chọn chế độ lái, Công tắc điều khiển trong chế độ sự cố, Công tắc điều khiển trong chế độ lái cần, Còi cảnh báo, Nút ấn xác nhận sự cố, Nút ấn hoàn nguyên. Đầu vào/ra của panel điều khiển được cho trong Bảng 3.5 dưới đây.

Bảng 3.5. Các đầu vào/ra của panel điều khiển

Stt	Tên tín hiệu	Loại tín hiệu	Ghi chú
1	Công tắc chọn chế độ lái	Digital input	
2	Công tắc điều khiển trong chế độ sự cố	Digital input	
3	Công tắc điều khiển chế độ lái cần	Digital input	
4	Nút ấn xác nhận sự cố	Digital input	
5	Còi cảnh báo	Digital output	

3.4.3 Giao diện dữ liệu của PLC với Drive/Servo motor

Để lấy tín hiệu phản hồi về từ servo, tác giả đã lấy tín hiệu từ các chân của drive servo sau đó đưa vào đầu vào của module mở rộng.

Bảng 3.6. Các đầu vào của Driver Servo/PLC

STT	Tên tín hiệu	Điểm đi	Điểm đến
1	Driver servo 1	Chân 7 Chân 28	EM1-X50 EM1-X51
2	Driver servo 2	Chân 7 Chân 28	EM1-X52 EM1-X53
3	Driver servo 3	Chân 7 Chân 28	EM1-X54 EM1-X55

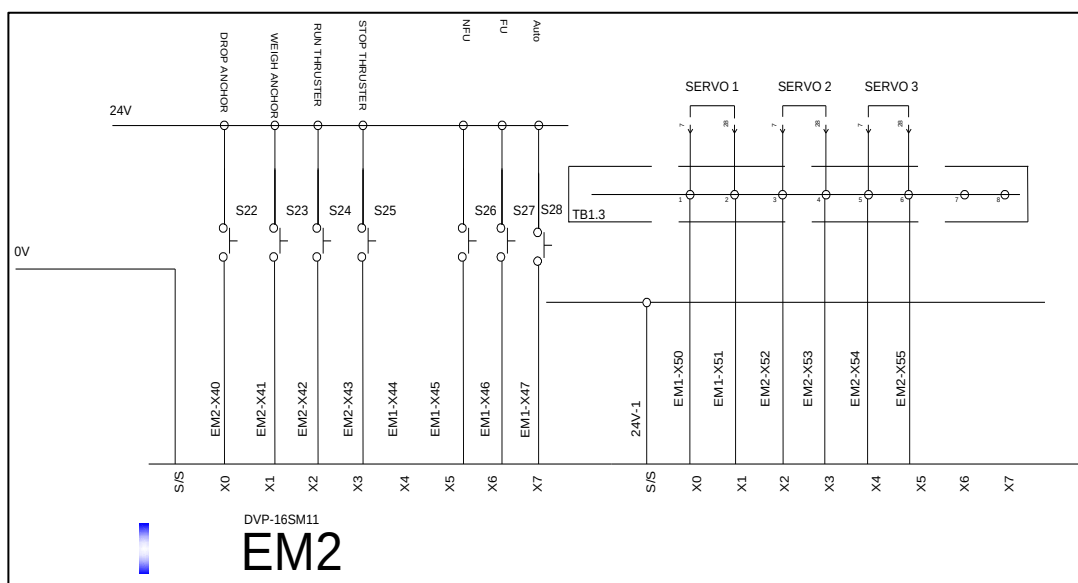
Để gửi tín hiệu điều khiển từ PLC đến động cơ servo như: khởi động, dừng và reset động cơ... tác giả đã đấu nối dây tín hiệu từ đầu ra của PLC đến chân của Drive servo thông qua cáp tín hiệu như bảng:

Bảng 3.7 Các đầu vào của Drive Servo/PLC

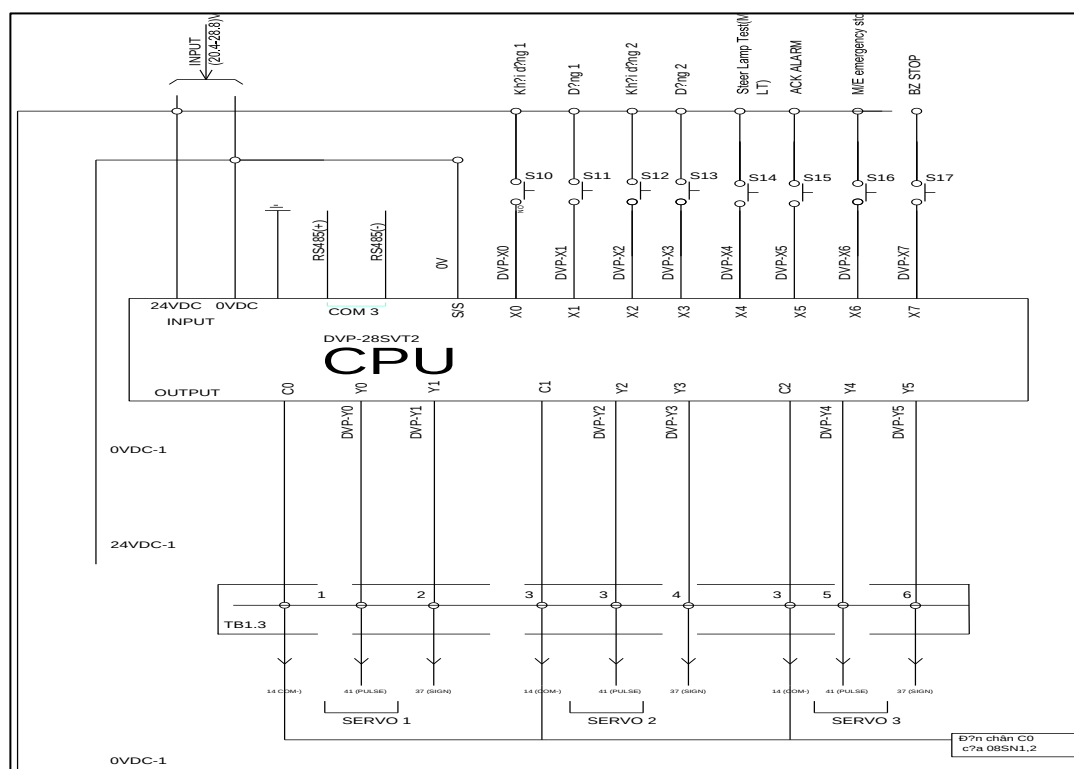
Stt	Tên tín hiệu	Điểm đi	Điểm đến
1	Driver servo 1	Chân C0-CPU Chân Y0-CPU Chân Y1-CPU EM4-Y40 EM4-Y41 EM4-Y42 EM4-Y43	14 (COM-) 41 (PULSE-) 37(SIGN) 9(Servo ON) 33(Alarm reset) 10(PULSE reset) 30(EMG STOP)
2	Driver servo 2	Chân C1-CPU Chân Y2-CPU Chân Y3-CPU EM4-Y44 EM4-Y45 EM4-Y46 EM4-Y47	14 (COM-) 41 (PULSE-) 37(SIGN) 9(Servo ON) 33(Alarm reset) 10(PULSE reset) 30(EMG STOP)
3	Driver servo 3	Chân C2-CPU Chân Y4-CPU	14 (COM-) 41 (PULSE-)

Stt	Tên tín hiệu	Điểm đi	Điểm đến
		Chân Y5-CPU	37(SIGN)
		EM5-Y50	9(Servo ON)
		EM5-Y51	33(Alarm reset)
		EM5-Y52	10(PULSE reset)
		EM5-Y53	30(EMG STOP)

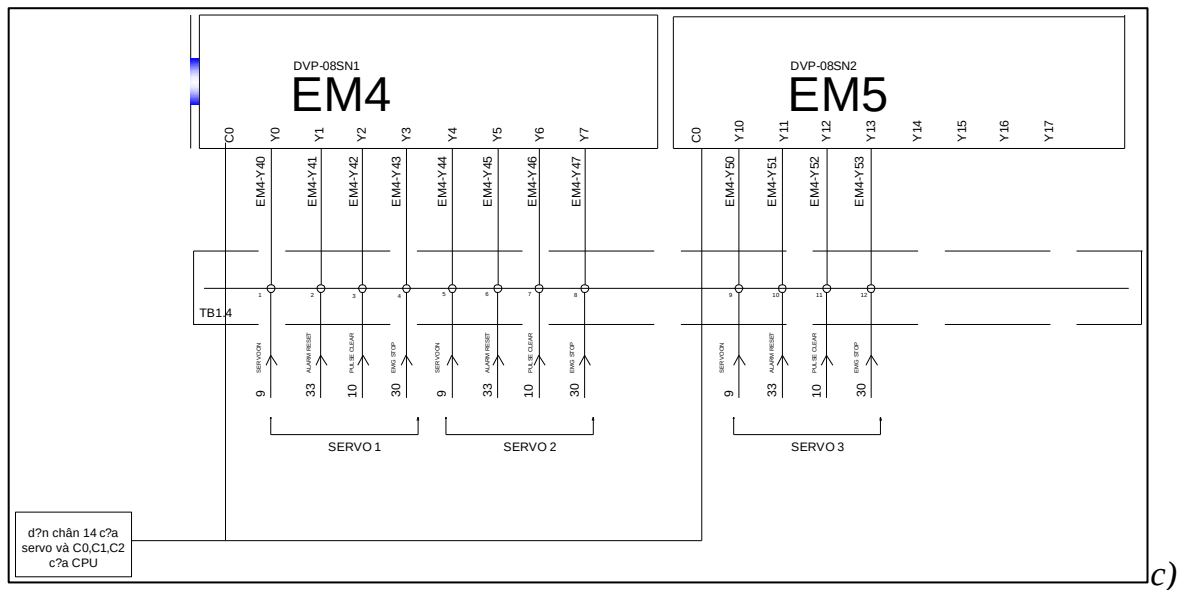
Sơ đồ kết nối module vào/ra dữ liệu của PLC cho 03 động cơ servo được thể hiện trên hình 3.20 dưới đây.



a)



b)



Hình 3.20. Bản vẽ kết nối tín hiệu vào/ra giữa PLC và drive của động cơ servo

Bên cạnh việc kết nối phần cứng, để phát xung điều khiển từ PLC cho Drive ta phải lập trình mã code chương trình PLC sử dụng thuật toán hình 3.21 với cấu trúc lệnh đặc biệt **DRVA** như sau :

DRVA S1 S2 D1 D2

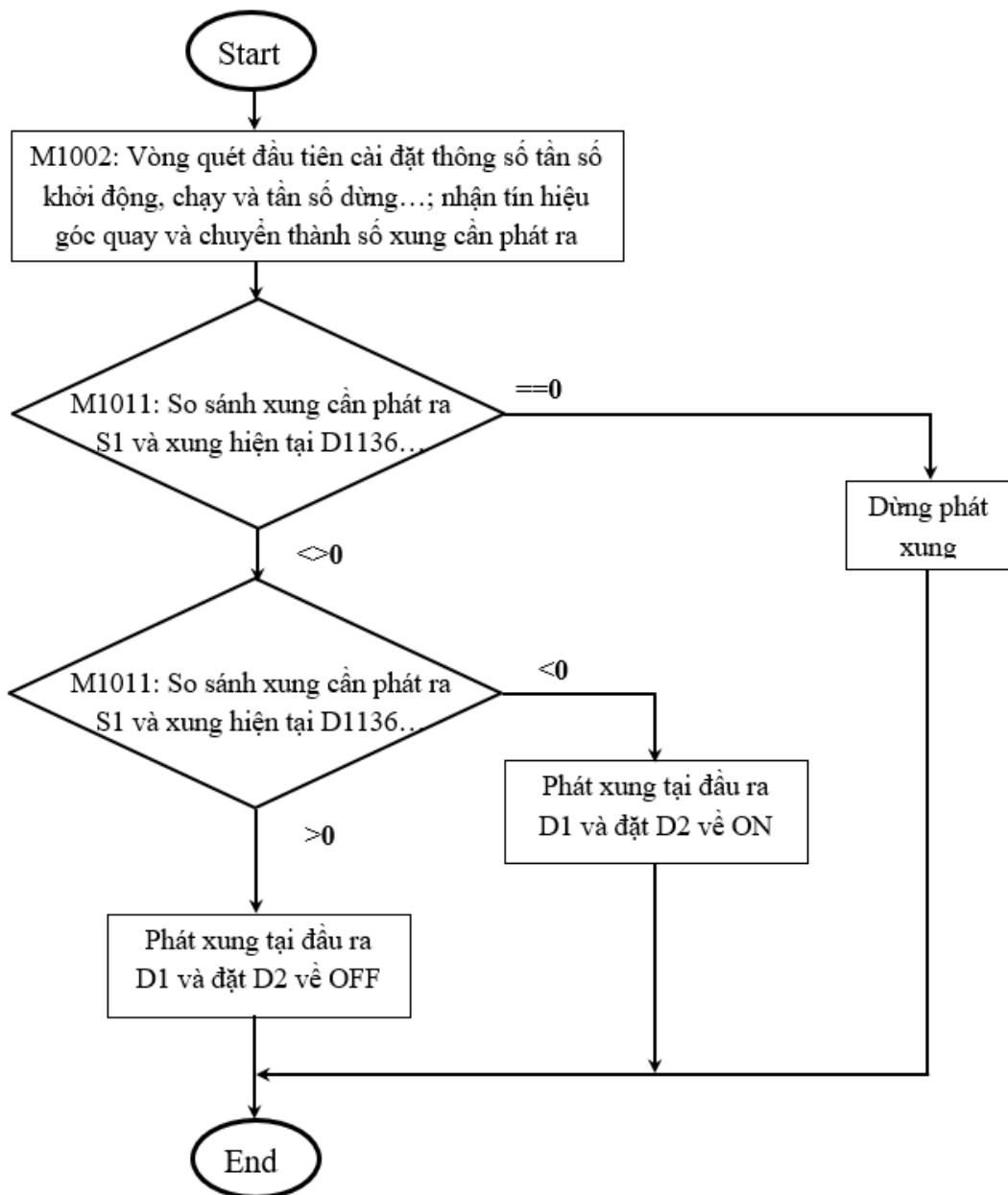
Trong đó:

S1: là số lượng xung cần phát ra, chính là giá trị góc quay α_i tính được ở trên, đối với động cơ servo mà ta lựa chọn thì 1 vòng có 160000 xung.

S2: đặt tần số phát xung, được chọn là 44Khz.

D1: đầu ra phát xung, tùy thuộc vào điều khiển servo nào trong 3 servo mà ta cài đặt sao cho phù hợp.

D2: là đầu ra cho đảo chiều quay của động cơ.

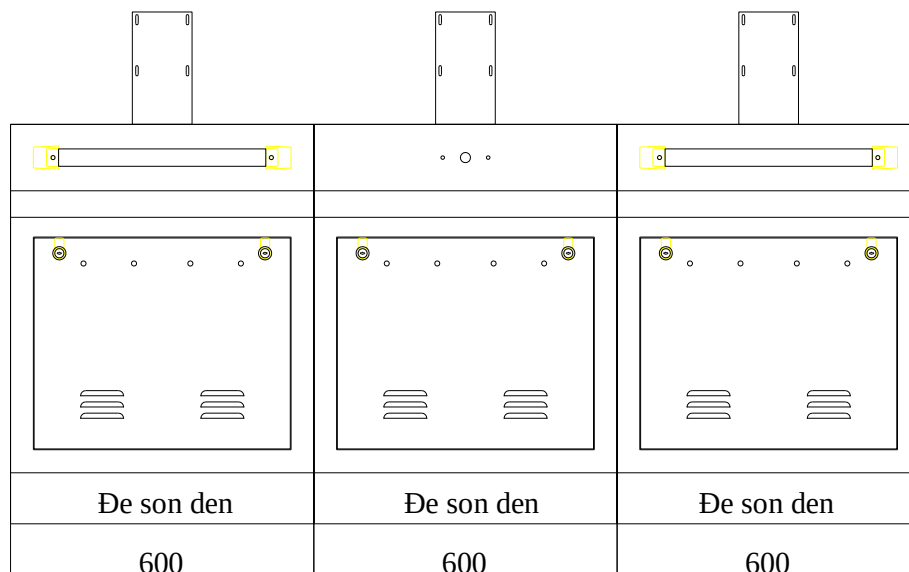


Hình 3.21. Thuật toán điều khiển vị trí servo bằng lệnh DRVA

3.5. Thiết kế, chế tạo bàn điều khiển control console

Sau khi thiết kế xong kết nối dữ liệu phần cứng, NCS tiến hành thiết kế kích thước cho panel điều khiển control console, phục vụ cho việc gia công cơ khí như hình:

PANEL 1 PANEL 2 PANEL 3

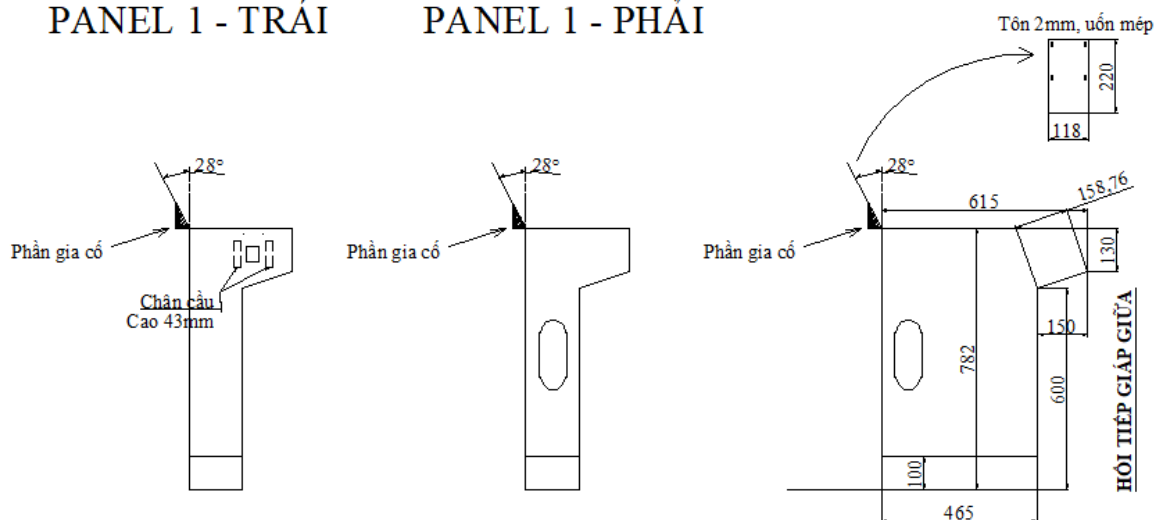


Hình 3.22. Mặt trước Panel điều khiển

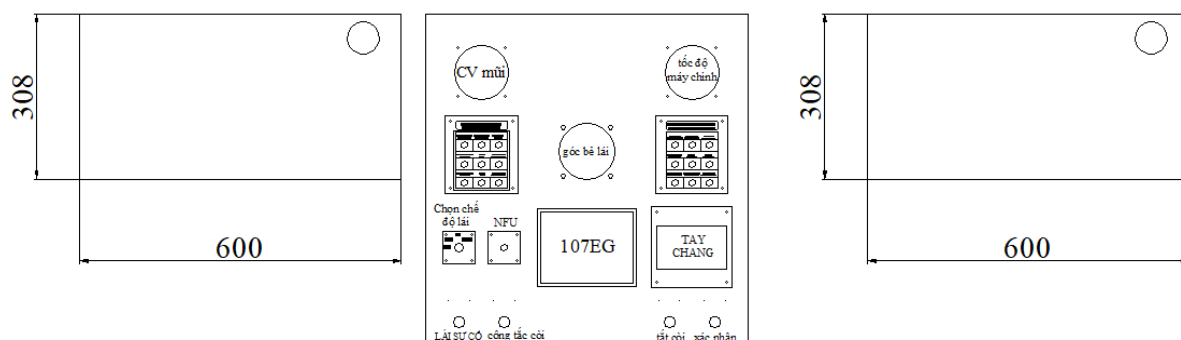
PANEL 2 - TRÁI/PHẢI

PANEL 1 - TRÁI

PANEL 1 - PHẢI



Hình 3.23. Mặt trái, phải của panel điều khiển



Hình 3.24. Mặt trên của panel điều khiển

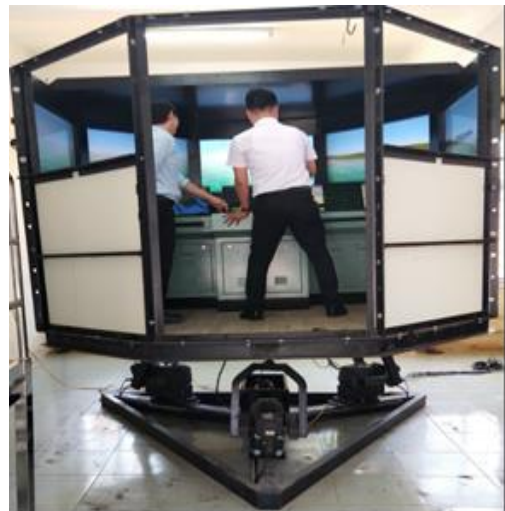
Sau khi gia công cơ khí, NCS tiến hành đấu nối panel điều khiển dựa trên sơ đồ nguyên lý đã thiết kế. Hình ảnh hệ thống sau khi được thiết kế, chế tạo thành công panel điều khiển thể hiện trong hình 3.25 dưới đây.



Hình 3.25. Hình ảnh bàn control console buồng lái sau khi được chế tạo



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Hình 3.26. Một số hình ảnh của hệ thống mô phỏng sau chế tạo

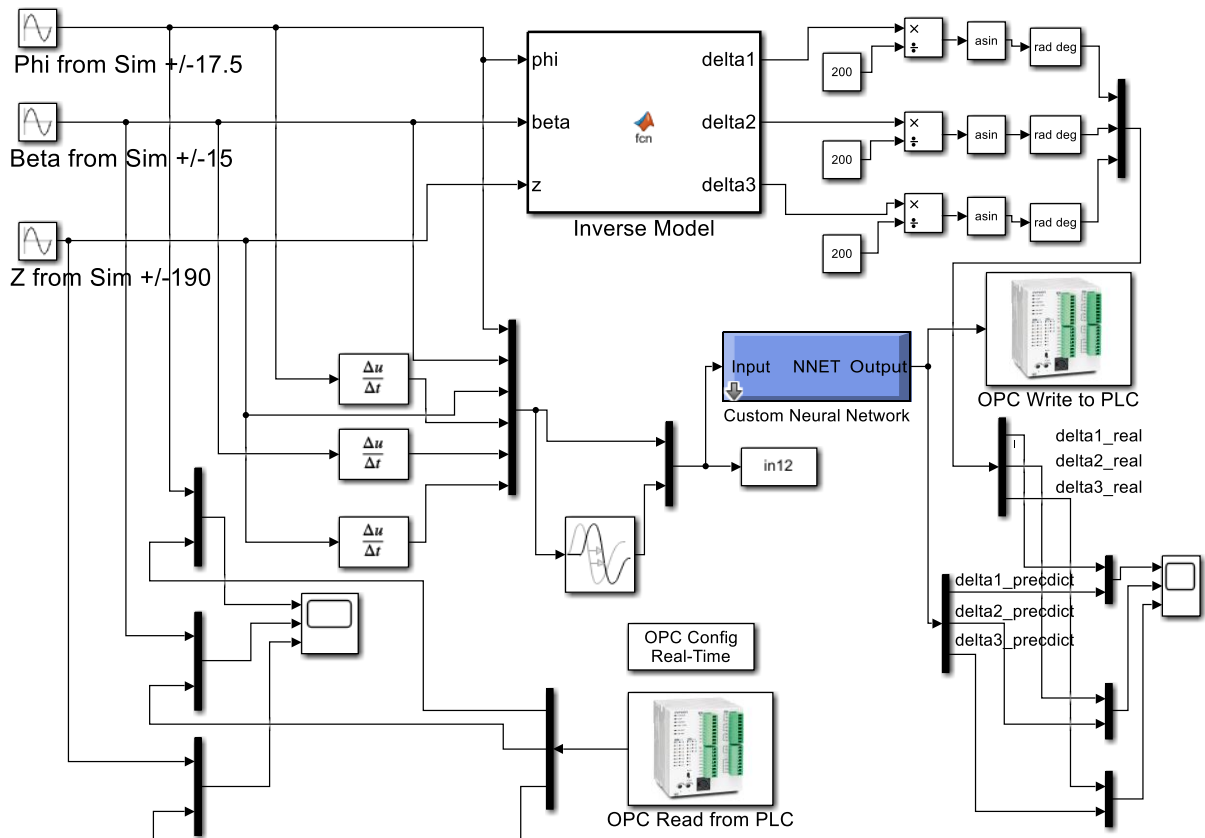
3.6. Cải thiện chất lượng điều khiển sà treo mô hình vật lý bằng bộ dự báo ứng dụng mạng nơron

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu của phần 3.3, ở đó ta có kết quả mô phỏng kiểm chứng bộ dự báo nơron MLP với mô hình mô phỏng động học thuận Newton-Raphson. Các đáp ứng ở hình 3.15, 3.16 chỉ ra đặc tính các dữ liệu đầu vào là các tín hiệu tham chiếu ϕ, θ, z được cung cấp từ hệ thống mô phỏng 3D của con tàu. Đáp ứng đầu ra là các tín hiệu ϕ, θ, z lấy ra từ mô hình mô phỏng sà treo khi tín hiệu đầu vào điều khiển động cơ servo được dự báo thông mạng nơron MLP. Từ các đầu ra tham chiếu cho thấy

sai số giữa giá trị tính toán bởi mô hình và giá trị thực tế không vượt quá 12% và tính thời gian thực của hệ đạt không còn trễ quá 50ms.

Hình 3.16 cho ta thấy đối với các tín hiệu điều khiển động cơ servo $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3]^T$ đã được dự báo và có pha luôn vượt trước các tín hiệu điều khiển động cơ servo mà ta có được từ mô hình động học ngược, thời gian vượt trước có thời điểm lên tới 1200ms.

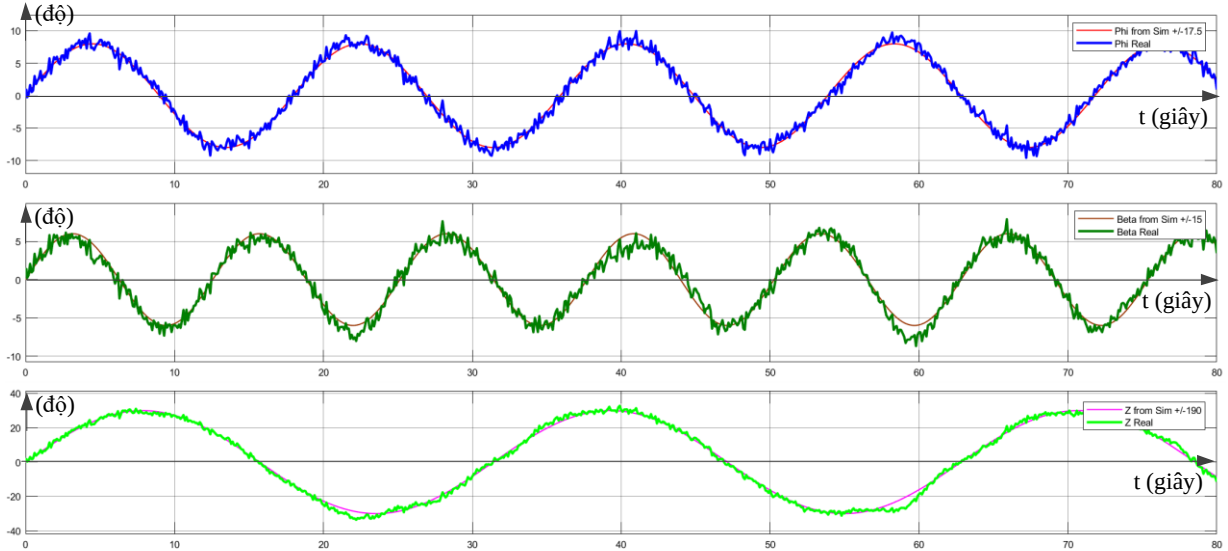
Sau khi chế tạo thành công mô hình vật lý của sàen treo ba bậc tự do đã được đề cập ở mục 3.4 và 3.5, công việc tiếp theo rất quan trọng là xây dựng cấu trúc điều khiển sử dụng thuật toán dự báo MLP để điều khiển mô hình sàen treo vật lý vừa được chế tạo. Toàn bộ cấu trúc điều khiển sử dụng thuật toán dự báo MLP trong môi trường Matlab/Simulink được NCS thiết kế như trên hình 3.27. Trong đó, ta thay toàn bộ khối mô hình động học thuận bằng các khối OPC read, OPC write để kết nối tín hiệu với hệ thống phần cứng của sàen treo vật lý.



Hình 3.27. Sơ đồ cấu trúc ứng dụng mạng nơon nhân tạo MLP trong điều khiển mô hình vật lý sàen treo 3 DOF

Kết quả thực nghiệm:

Sau khi thay đổi điều khiển mô phỏng chuyển động của tàu thủy trên mô hình động học thuận bằng mô hình vật lý đã được xây dựng và tiến hành các thực nghiệm để lấy kết quả, ta có một số kết quả hình 3.28 như sau:



Hình 3.28. Đáp ứng tín hiệu khi tín hiệu nghiêng, lắc và trượt dừng của sàn treo khi ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo MLP so sánh với tín hiệu từ mô phỏng 3D

Nhận xét kết quả thực nghiệm:

- Nếu đưa thuật toán dự báo MLP để điều khiển mô hình vật lý sàn treo thông qua PLC thì độ trễ cho mô hình điều khiển này cũng giảm và cải thiện đáng kể gần giống như mô hình mô phỏng, với đáp ứng có độ trễ không vượt quá 60ms.
- Tuy nhiên, biên độ của các tín hiệu ra ϕ (lắc ngang), θ (lắc dọc) và chuyển động trượt dọc trục thẳng đứng là z đo được trực tiếp từ sàn treo không bám được hoàn toàn các tín hiệu từ hệ thống mô phỏng 3D, có thời điểm xuất hiện xung nhiễu của tín hiệu đo vượt quá 5%.
- Ngoài ra, kết quả thu được từ hình 3.30 là đặc tính đáp ứng mà ta đo được có sử dụng bộ dự báo dùng mạng nơ-ron nhân tạo (MLP) kết hợp với bộ điều khiển PLC tạo tín hiệu điều khiển 03 động cơ servo trong mô hình vật lý treo so với đặc tính của mô phỏng 3D có xuất hiện những sai lệch tức thời lớn, do có nhiễu xung răng cưa thu được ở tín hiệu nghiêng/lắc thực của sàn treo.

Về mặt tổng thể thì hệ thống có sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo MLP đã cải thiện được rất tốt chất lượng điều khiển độ nghiêng/lắc của sàn treo khi bám theo mô hình

con tàu mô phỏng, độ trễ pha đã giảm đi rất đáng kể chỉ còn khoảng 60ms. Với thời gian nhỏ như vậy đã hoàn toàn tạo cảm giác cho người huấn luyện có được sự đồng bộ giữa thị giác nhìn trên mô hình 3D và cảm nhận thực tế khi đứng trên sàn treo. Mặt khác, tồn tại thứ ba mà ở trên đã nêu có thể giải thích được là do nhiễu của các thiết bị đo sinh ra và trên thực tế các nhiễu tần số cao này có thể được lọc phẳng bởi chính mô hình có quán tính chậm khoảng 2000ms (tối đa 0,5Hz) của sàn treo.

3.7 Kết luận chương 3

Trong chương 3, NCS đã tìm hiểu về trí tuệ nhân tạo AI và mạng nơron nhân tạo ANN, sau đó thiết kế bộ dự báo trên cơ sở mạng nơron nhân tạo dạng nhiều lớp truyền thẳng MLP. Tiến hành kiểm chứng bằng mô phỏng dựa trên mô hình động học thuận sử dụng phương pháp Newton-Raphson có ứng dụng MLP so với tín hiệu ban đầu được mô phỏng lấy từ máy tính PC server chạy mô hình 3D.

NCS xây dựng mô hình vật lý để thực nghiệm kiểm chứng kết quả nhằm đánh giá chất lượng điều khiển bám so với mô phỏng.

Trên cơ sở chế tạo thành công mô hình vật lý của sàn treo ba bậc tự do tiến hành xây dựng cấu trúc điều khiển sử dụng thuật toán dự báo MLP để điều khiển mô hình sàn treo vật lý vừa được chế tạo để thu thập kết quả thực nghiệm. Về mặt tổng thể thì hệ thống có sử dụng mạng nơron nhân tạo MLP đã cải thiện được rất tốt chất lượng điều khiển độ nghiêng/lắc của sàn treo khi bám theo mô hình con tàu mô phỏng, độ trễ pha đã giảm đi rất đáng kể chỉ còn khoảng 60ms.

KẾT LUẬN

Những vấn đề đã được giải quyết:

Quá trình thực hiện đề tài, luận án đã giải quyết được những nội dung sau:

1. Đã nghiên cứu và đề xuất mô hình toán học đầy đủ về động lực học của đối tượng con tàu dưới dạng không gian trạng thái 6 bậc tự do đáp ứng cho mong muốn mô phỏng được chính xác chuyển động tàu thủy trong không gian 3D. Từ đó có thể đưa trực tiếp các phương trình này vào model của con tàu mới bất kỳ nào để tạo ra các tương tác vật lý như trên thực tế. Bên cạnh đó, cũng nghiên cứu và đề xuất mô hình toán học của các yếu tố môi trường như sóng, gió và dòng chảy.

2. Đã nghiên cứu và ứng dụng phần mềm mô phỏng Unity3D để mô phỏng thành công chuyển động tàu thủy trên cơ sở phương trình động học có được. Trong đó, phương trình động lực học $M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau - g(\eta)$ đã được mô phỏng thông qua module RigidBody và đưa vào mô hình tàu, bên cạnh các thành phần lực nổi, lực và mô men thủy động lực học, lực và mô men tạo ra do tác động của các lực đẩy của chân vịt chính, chân vịt mũi, bánh lái, lực do tác động của môi trường như sóng, gió, dòng chảy... đều lần lượt được tính toán bằng các khối hàm và đưa vào vật thể là con tàu đảm bảo đầy đủ tương tác vật lý của nó.

3. Đã nghiên cứu và xây dựng bộ điều khiển bám tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D bằng mô hình động học ngược chính xác, sau đó sử dụng mô hình động học thuận ứng dụng thuật toán Newton-Raphson để kiểm tra đáp ứng bám tín hiệu. Đã đề xuất các phương án ghép nối giữa PLC và Drive, phương pháp thiết kế thuật toán điều khiển trên PLC và Drive để cải thiện chất lượng điều khiển bám tín hiệu mô phỏng như sử dụng các phương pháp như Feedforward đầu vào, bù nhiễu tải, dự báo số.

4. Đã nghiên cứu và xây dựng thành công mô hình vật lý sà lan treo 3 bậc tự do trên cơ sở cấu trúc của Stewart platform có sử dụng bộ điều khiển bám các tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D trên cơ sở ứng dụng thiết bị điều khiển logic khả trình PLC, Drive, Servo.

5. Đã nghiên cứu và thiết kế dự báo hiện đại dạng mạng nơ-ron nhân tạo MLP có sử dụng công cụ NNtool trong môi trường Matlab/Simulink và công cụ thời gian thực OPC. Mạng nơ-ron nhân tạo dạng truyền thẳng nhiều lớp - MLP được xây dựng để dự báo trước góc quay của 03 động cơ servo chuyển động sà lan treo có cấu trúc 12 lớp vào,

10 nút ấn và 3 lớp ra. Bộ điều khiển dự báo đã khắc phục các nhược điểm về độ trễ và nâng cao chất lượng điều khiển để bám thời gian thực tín hiệu mô phỏng chỉ còn khoảng 50-100ms.

Những vấn đề còn tồn tại

Những vấn đề trong quá trình thực hiện đề tài mà luận án còn tồn tại, chưa giải quyết được bao gồm:

1. Các chỉ tiêu lớn là độ chính xác và độ trễ của các thông số nghiêng, lắc, trượt đứng của sàn treo bám theo tín hiệu chuyển động ϕ, θ, z của con tàu mô phỏng 3D đã được cải thiện, tuy nhiên không khắc phục được hoàn toàn. Độ bám tín hiệu còn có thời điểm vượt lên 5%, độ trễ pha đã giảm nhưng có tình huống vẫn đạt đến 100ms và còn xuất hiện tín hiệu xung nhiễu lớn từ tín hiệu đo.

2. Chưa thực hiện được việc thu thập dữ liệu mô hình vật lý hoạt động ở tất cả các cấp độ sóng và tình huống điều động con tàu khác nhau. Dữ liệu thu thập kết quả chưa đủ lớn và việc tách lọc, lựa chọn cũng không đảm bảo tuyệt đối tốt để làm đầu vào cho mô hình mạng nơron nhân tạo MLP được huấn luyện với các mẫu hoàn hảo nhằm thu được các trọng số W_{ji} và các ngưỡng hay độ lệch (bias) θ_j của mạng tối ưu nhất.

Hướng khắc phục các vấn đề còn tồn tại là lựa chọn và lắp đặt bộ cảm biến các giá trị nghiêng, lắc, trượt của sàn treo loại tốt hơn đồng thời sử dụng các thuật toán tối ưu để tách lọc, lựa chọn bộ dữ liệu mẫu tốt nhất làm đầu vào cho quá trình huấn luyện.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

I. Công trình công bố trong nước

1. Trương Công Mỹ, Trần Anh Dũng (2021). *Xây dựng hệ thống mô phỏng chuyển động tàu thủy sử dụng mô hình 3 bậc tự do*. Tạp chí Tự Động Hóa Ngày Nay, ISSN 1859-0551, số 239 + 240 tháng 1+2/2021, trang 69-72
2. Trương Công Mỹ, Đinh Anh Tuấn, Nguyễn Kim Phương (2021). *Ứng dụng PLC để thiết kế bộ điều khiển bám tín hiệu mô phỏng hàng hải của tổ hợp Drive/ động cơ servo*. Tạp chí Khoa học công nghệ hàng hải, ISSN 1859 -316X, Số 66 - 4/2021, trang 66-71
3. Đinh Anh Tuấn, Trương Công Mỹ (2021). *Nghiên cứu và thiết kế bộ điều khiển bám tín hiệu mô phỏng hàng hải của tổ hợp Drive/Servo ứng dụng PLC*. Tạp chí Giao thông vận tải (ISSN 2354 - 0818) số tháng 6 năm 2021, trang 166-170
4. Trương Công Mỹ. *Improve the Quality of Ship Simulation Signal Tracking Control for the Cockpit Cabin Deck with 3 Degrees of Freedom Applying Prediction Algorithms Based on Artificial Neural Networks*. VCCA 2021, No. ID52
5. Trương Công Mỹ, Phạm Minh Thảo (2023). *Nghiên cứu ứng dụng mạng nơ ron trong điều khiển hệ thống cabin sàn treo cho mô phỏng thủy phi cơ nhằm đáp ứng tính thời gian thực*. Tạp chí giao thông vận tải ISSN 2354 - 0818 (tháng 5/2023)

II. Công trình công bố quốc tế

6. Đào Minh Quân, Đinh Anh Tuấn, Trương Công Mỹ và Lưu Quang Hưng, *Building the control signal model for design of 3DOF motion platform of marine simulation system*, Journal of Physics: Conference Series, cof.ser.1679 022012. **(Scopus)**
7. Trương Công Mỹ, Đinh Anh Tuấn, Nguyễn Kim Phương, *Improving the Quality of Ship Simulation Signal Tracking Control for the Cockpit Cabin Deck with 3 Degrees of Freedom Applying Prediction Algorithms Based on Artificial Neural Networks*, AMFUF 2021, page 264-271
8. Trương Công Mỹ, Lê Đăng Khánh, Phạm Minh Thảo, *An Artificial Neural Networks (ANN) Approach for 3 Degrees of Freedom Motion Controlling*, International journal on informatics visualization– June 2023 301-309. **(Scopus)**

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Phạm Văn Thuần (2013). *Dự đoán tính năng điều động tàu sử dụng K-T model*. Tạp chí Giao thông vận tải số tháng 04/2013, tr. 32-34.
- [2] Đặng Xuân Hoài (1999). *Ứng dụng kỹ thuật tự động hoá và vi xử lý trên tàu thủy đóng tại Việt Nam*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật. Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [3] Khương Minh Tuấn (2017). *Nghiên cứu kiến trúc hướng mô hình kết hợp với RealTime UML/MATE trong thiết kế hệ thống điều khiển cho phương tiện không người lái tự hành trên mặt nước*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật. Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [4] Hoàng Thị Tú Uyên (2018). *Nghiên cứu ứng dụng lý thuyết điều khiển thích nghi để nâng cao chất lượng hệ thống lái tự động tàu nội có choán nước*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật. Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [5] Nguyễn Hữu Quyền, Trần Anh Dũng (2018). *Điều khiển tối ưu toàn phương tuyến tính chuyển động tàu thủy*. Tạp chí Khoa học công nghệ Hàng hải, số 43 - 08/2018.
- [6] Nguyễn Hữu Quyền (2019). *Nghiên cứu giải pháp điều khiển bám quỹ đạo tàu thủy có rang buộc tín hiệu và bất định hàm ở đầu vào*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật. Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [7] Vũ Văn Tú (2022). *Xây dựng phương pháp điều khiển thích nghi trên nền tối ưu cho hệ lái tàu thủy*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật. Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [8] Đinh Anh Tuấn, Đào Minh Quân (2013). *Mô hình toán học tàu thủy phục vụ cho nghiên cứu, mô phỏng và thiết kế hệ thống lái tự động*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Hàng hải.

Tiếng Anh

- [9] K.J. Astrom and C.G. Kallstrom (1976). *Identification of Ship Dynamic*. Automatica, Vol.12, pp.9-222, Pergamon Press, 1976. Printed in Great Britain.
- [10] Y.S. Yang and C.J. Zhou. *Adaptive Fuzzy Control of Ship Autopilots with Uncertain Nonlinear Systems*. Proc. 2004 IEEE, Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, Singapore, pp. 1323-1328, December, 2004.
- [11] J. Velagic, Z. Vukic and E. Omerdic (2002). *Adaptive fuzzy ship autopilot for track-keeping*. Control Engineering Practice, Vol 2, pp.433-443, Elsevier, 2002.

- [12] X. K. Dang, H. D. Tran, D. C. Quach. *Ship Autopilot Design Based on Adaptive Smith Predictor Under the Effect of Uncertain Time-delay and Disturbances*. Proc. “The 6th Vietnam Conference on Mechatronics”, Dec, 2012, Hanoi.
- [13] X. K. Dang, Z. H. Guan, H. D. Tran and T. Li. *Fuzzy Adaptive Control of Networked Control System with Unknown Time-delay*. Proc. “The 30th Chinese Control Conference”, Jul. 2011, Yantai, China.
- [14] X. K. Dang, H. D. Tran, D. C. Quach. *Robust Controller Design for Ship Autopilot with Unknown Time-delay*. Proc. “The 1th Vietnam Conference on Control and Automation”, Dec, 2011, Hanoi.
- [15] V. P. Pham, X. K. Dang and D. T. Truong. *Control System Design for Torpedo using a Direct Adaptive Fuzzy-Neural Output-feedback Controller*” Proc. “The 2th Vietnam Conference on Control and Automation” , Dec, 2013, DaNang.
- [16] W.Y. Feng, Y. Li and G. Chong. *Tractable Neurocontroller Design and Application to Ship Control with Actuator Limits*. “IFSA World congress and 20th NAFIDS International conference”, July. 2001, Vol.3, pp.1282-1287.
- [17] Nguyen Xuan Phuong, Vu Ngoc Bich (2015). *Objectives of Meeting Movement - Application for Ship in Maneuvering*. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*. Vol. 3, No. 3-1, 2015, pp. 49-56.
- [18] Guoqing Xia, Xiaocheng Shi, Mingyu Fu, Honggjian Wang and Xinqian Bian. *Design of Dynamic Positioning Systems Using Hybrid CMAC-based PID Controller for A Ship*. “International Conference on Mechatronics and Automation Niagara Falls”, July 2005, pp. 825-830.
- [19] Wen-Jer Chang, Guo-Jang Chen and Yi-Lin Yeh (2002). *Fuzzy Control of Dynamic Positioning Systems for Ships*. *Journal of marine Science and Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 47-53.
- [20] Steinar Saelid, Jenssen, Jens G. Balchen (2012). *Design and Analysis of a Dynamic Positioning System Based on Kalman Filtering and Optimal Control*. Master of Science in Mathematics Islamia University Bahawalpur, Pakistan, April 2012.
- [21] Phung Hung Nguyen, Viet Thanh Nguyen (2008). *Ship Dynamic Positioning System*. *Journal of marine Technology*, pp. 38 -42.
- [22] T.I. Fossen (2011). *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*. John Wiley and Sons, Ltd.

- [23] Viet-Dung Do, Xuan-Kien Dang and An-Tinh Le. *Fuzzy Adaptive Interactive Algorithm for Rig Balancing Optimization*. “International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunication and Computing”, 2017, IEEE conference, pp. 143-148.
- [24] T.I. Fossen (2002). *Marine Control Systems - Guidance, Navigation and Control of Ship, Rigs and Underwater Vehicles*. Marine Cybernetics, Trondheim, Norway.
- [25] Лукомский Ю.А., Пешехонов В.Г., Скороходов Д.А. (2002). *Навигация и управление движением судов*. СПб., Изд-во «Элмор».
- [26] Fossen, T. I (2002). *Marine Control Systems - Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles Marine Cybernetics*. 3rd edition.
- [27] Perez, T. and Mogens Blanke (2002). *Mathematical Ship Modeling for Control Applications*. Technical Report Dept. of Electrical and Computer Engineering The University of Newcastle, NSW, 2308, Australia.
- [28] Fossen, T.I (1994). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. John Wiley and sons.
- [29] Lundblad, J. G. *Application of the Extended Kalman Filtering Technique to Ship Maneuvering Analysis*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- [30] Will Goldstone. *Unity Game Development Essentials*.
- [31] A.B. Brian. *Ship hydrostatics and stability*. Butterword-Heinemann.
- [32] Fossen, T. I (2002). *Marine Control Systems - Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles Marine Cybernetics*, 3rd edition.
- [33] Perez, T., Mogens Blanke. *Mathematical Ship Modeling for Control Applications*. Technical Report Dept. of Electrical and Computer Engineering The University of Newcastle, NSW, 2308, Australia.
- [34] Alarcin, F., and K. Gule (2007). *Rudder Roll Stabilization for Fishing Vessel using Neural Network Approach*. Ocean Engineering.
- [35] Fossen, T.I., T. Lauvdal (1994). *Nonlinear Stability Analysis of Ship Autopilots in Sway, Roll and Yaw*. Proceedings of the Conference on Marine Craft Maneuvering and Control (MCMC'94), Southampton, UK.
- [36] Fossen, T.I and O.E. Fjellstad (1995). *Nonlinear Modelling of Marine Vehicles in 6 Degrees of Freedom*. International Journal of Mathematical Modelling of Systems JMMS-1(1), pp. 17-28.

- [37] Nguyễn Công Vĩnh (2007). *The Synthesis of trajectory regulator using fuzzy logic theory in marine vessel autopilot*. Gdynia.
- [38] Perez, T., T. I. Fossen (2005). *Ship Kinetics*. Chapter 4, In: "Ship Motion Control: Course Keeping and Roll Stabilisation using Rudder and Fins" (T. Perez), Advances in Industrial Control Series, Springer-Verlag, ISBN 1-85233.
- [39] Ross, A (2008). *Nonlinear Manoeuvring Models for Ships: a Lagrangian Approach*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- [40] Лукомский Ю.А., Корчанов В.М. (1996). *Управление морскими подвижными объектами*. Учебник.- СПб., Элмор.
- [41] Derek K. Brecht (2015). *A 3-DOF Stewart Platform for Trenchless Pipeline Rehabilitation*. Electronic Thesis and Dissertation, The University of Western Ontario.
- [42] Thor I. Fossen (2002). *Marine control systems - Guidance and Control of Ship, Rigs, Underwater Vehicles*. Marine Cybernetics, Trondheim, Norway.
- [43] Shailendra Shisode, Ganesh Shrigandhi (2017). *Design and Simulation of 3Degree of Freedom (DOF) Motion Platform*. International Journal of Current Engineering and Technology.
- [44] Xiaoyong Wu, Zhijiang Xie (2019). *Forward kinematics analysis of a novel 3-DOF parallel manipulator*. Scientia Iranica.
- [45] Webjørn Rekdalsbakken (2015). *Design and Application of a Motion Platform for a High-Speed Craft Simulator*. IEEE Xplore.
- [46] Fossen T. (2002). *Marine control systems: guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles*. Vol. 28.
- [47] Kenji Yoshimura¹, Nobuo Mitomo¹, Tadatsugi Okazaki¹, Kenjiro Hikida¹, Koji Murai². *Evaluating the mariner's workload using the bridge simulator*.¹ National Maritime Research Institute 6-38-1 Shinkawa, Mitaka, Tokyo, 181-0004 JAPAN, Faculty of Maritime Sciences, Kobe University, Hyogo Pref., Japan.
- [48] Perez T., Blanke M (2002). *Simulation of Ship Motion in Seaway*. Australia, The University of Newcastle.
- [49] Perez T., Smogeli O., Fossen T., and Sorensen A (2004). *An Overview of the Marine Systems Simulator (MSS): A Simulink® Toolbox for Marine Control Systems*. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Norway.

- [50] Tucker J., Patterson A., Fiander G., Harris C., and Spencer D. *Simulation and Modeling of Navigating in Ice*. “International Navigation Simulator Lecturers' Conference (INLSC-14)”, 2006, Genoa, Italy.
- [51] N. A. Costa¹, R. Weber², F. Olsson¹ and J. Algell¹. *Testing Proof of Concept of a Web-Based Ship Manoeuvring Training Tool in the Classroom*. Mechanics and Maritime Sciences, Chalmers University of Technology
- [52] Stewart D. *A Platform with Six Degrees of Freedom*. Proc. Inst. Mech. Eng. 1965, 180, 371-386.
- [53] Dasgupta B., Mruthyunjaya T.S. (2000). *The Stewart Platform Manipulator*. A Review. Mech. Mach. Theory, 35, 15-40.
- [54] Porta J.M., Thomas F. *Yet Another Approach to the Gough-Stewart Platform Forward Kinematics*. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Brisbane, QLD, Australia, 21-25 May 2018, IEEE: Brisbane, QLD, Australia, pp. 974-980.
- [55] Staicu S. (2009). *Dynamic Analysis of the 3-3 Stewart Platform*. UPB Sci. Bull. D, 71, 3-18.
- [56] Shao Z.-F., Tang X., Wang L.-P. (2013). *Optimum Design of 3-3 Stewart Platform Considering Inertia Property*. Adv. Mech. Eng, 5, 249121.
- [57] Rastegarpanah A., Saadat M., Rakhodaei H. *Analysis and Simulation of Various Stewart Platform Configurations for Lower Limb Rehabilitation*. In Proceedings of “The 4th Annual BEAR PGR” Conference 2013, 16 December 2013, Birmingham, UK.
- [58] Alp H., Anli E., Özkol I. (2007). *Neural Network Algorithm for Workspace Analysis of a Parallel Mechanism*. Aircr. Eng. Aerosp. Technol., 79, 35-44.
- [59] Wei F., Wei S., Zhang Y., Liao Q (2017). *Forward Displacement Analysis of a General 6-3 Stewart Platform Using Conformal Geometric Algebra*. Math. Probl. Eng. 2017, 1-9.
- [60] Sosa-Méndez D., Lugo-González E., Arias-Montiel M., García-García R.A. (2017). *ADAMS-MATLAB Co-Simulation for Kinematics, Dynamics, and Control of the Stewart-Gough Platform*. Int. J. Adv. Robot. Syst, 14, 172988141771982.
- [61] Slavutin M., Sheffer A., Shai O., Reich Y. (2018). *A Complete Geometric Singular Characterization of the 6/6 Stewart Platform*. J. Mech. Robot, 10, 041011.

- [62] Dönmez D., Akçalı I.D., Avşar E., Aydın A. Mutlu H. (2021). *Determination of Particular Singular Configurations of Stewart Platform Type of Fixator by the Stereographic Projection Method*. Inverse Probl. Sci. Eng, 29, 2925-2943.
- [63] Hernández-Gómez J.J., Medina I., Torres-San Miguel C.R., Solís-Santomé A., Couder-Castañeda C., Ortiz-Alemán J.C., Grageda-Arellano J.I. (2018). *Error Assessment Model for the Inverse Kinematics Problem for Stewart Parallel Mechanisms for Accurate Aerospace Optical Linkage*. Math. Probl. Eng. 1-10.
- [64] Yang D.C.H., Lee T.W. (1984). *Feasibility Study of a Platform Type of Robotic Manipulators from a Kinematic Viewpoint*. J. Mech. Transm. Autom. Des. 106, 191-198.
- [66] Liu K., Fitzgerald J.M., Lewis F.L. (1993). *Kinematic Analysis of a Stewart Platform Manipulator*. IEEE Trans. Ind. Electron. 40. 282-293.
- [67] Inner B., Kucuk S. (2013). *A Novel Kinematic Design, Analysis and Simulation Tool for General Stewart Platforms*. Simulation 2013, 89, 876-897.
- [68] Tamir T.S., Xiong G., Dong X., Fang Q., Liu S., Lodhi E., Shen Z., Wang F.-Y. (2022). *Design and Optimization of a Control Framework for Robot Assisted Additive Manufacturing Based on the Stewart Platform*. Int. J. Control Autom. Syst., 20, 968-982.
- [69] Wei W., Xin Z., Li-li H., Min W., You-bo Z. (2018). *Inverse Kinematics Analysis of 6-DOF Stewart Platform Based on Homogeneous Coordinate Transformation*. Ferroelectrics, 522, 108-121.
- [70] Wang A., Wei Y., Han H., Guan L., Zhang X., Xu X. *Ocean Wave Active Compensation Analysis of Inverse Kinematics for Hybrid Boarding System Based on Fuzzy Algorithm*. In Proceedings of the 2018 OCEANS-MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO), 28-31 May 2018, Kobe, Japan; IEEE: Kobe, Japan, 2018; pp. 1-6.
- [71] Mohamed M.G., Duffy J. (1985). *A Direct Determination of the Instantaneous Kinematics of Fully Parallel Robot Manipulators*. J. Mech. Transm. Autom. Des, 107, 226-229.
- [72] Gallardo-Alvarado J. (2020). *A Gough-Stewart Parallel Manipulator with Configurable Platform and Multiple End-Effectors*. Meccanica, 55, 597-613.
- [73] Sreenivasan S.V., Waldron K.J., Nanua P. (1994). *Closed-Form Direct Displacement Analysis of a 6-6 Stewart Platform*. Mech. Mach.Theory 29, 855-864.

- [74] Shao Z.-F., Tang X., Wang L. (2015). *Dynamics Verification Experiment of the Stewart Parallel Manipulator*. Int. J. Adv. Robot. Syst. 12, 144.
- [75] Sosa-Méndez D., Lugo-González E., Arias-Montiel M., García-García R.A. (2017). *ADAMS-MATLAB Co-Simulation for Kinematics, Dynamics, and Control of the Stewart-Gough Platform*. Int. J. Adv. Robot. Syst, 14, 172988141771982.
- [76] Tsoi Y.-H., Xie S.Q., Graham A.E. Design, *Modeling and Control of an Ankle Rehabilitation Robot*. In Design and Control of Intelligent Robotic Systems, Liu D., Wang L., Tan K.C., Eds., Studies in Computational Intelligence, 2009, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; Volume 177, pp. 377-399. ISBN 978-3-540-89932-7.
- [77] Zhan G., Niu S., Zhang W., Zhou X., Pang J., Li Y., Zhan J. (2022). *A Docking Mechanism Based on a Stewart Platform and Its Tracking Control Based on Information Fusion Algorithm*. Sensors, 22, 770.
- [78] Grosch P., Di Gregorio R., López J., Thomas F. Motion Planning for a Novel Reconfigurable Parallel Manipulator with Lockable Revolute Joints. In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 3-7 May 2010, Anchorage, AK, USA, IEEE: Anchorage, AK, USA; pp. 4697-4702.
- [79] Meng Q., Zhang T., He J., Song J., Chen X. (2012). *Improved Model-based Control of a Six-degree-of-freedom Stewart Platform Driven by Permanent Magnet Synchronous Motors*. Ind. Robot Int. J., 39, 47-56.
- [80] Patel V., Krishnan S., Goncalves A., Goldberg K. *SPRK: A Low-Cost Stewart Platform for Motion Study in Surgical Robotics*. In Proceedings of the 2018 International Symposium on Medical Robotics (ISMR), 1-3 March 2018, Atlanta, GA, USA; IEEE: 2018, Atlanta, GA, USA, pp. 1-6.
- [81] Walica D., Noskiewiĉ P. (2022). *Application of the MiL and HiL Simulation Techniques in Stewart Platform Control Development*. Appl. Sci, 12, 2323.
- [82] Rossell J.M., Vicente-Rodrigo J., Rubio-Massegu J., Barcons V. *An Effective Strategy of Real-Time Vision-Based Control for a Stewart Platform*. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 20-22 February 2018, Lyon, France; IEEE: 2018, Lyon, France; pp. 75-80.
- [83] Lou J.-H., Tseng S.P. *Developing a Real-Time Multi-Axis Servo Motion Control System*. In Proceedings of the 6th International Conference on Control, Mechatronics and Automation-ICCMA 2018, ACM Press, 2018, Tokyo, Japan; pp. 86-91.

- [84] Li B., Li Y., Zhao X. (2016). *Kinematics analysis of a novel over-constrained three degree-of-freedom spatial parallel manipulator*. Mechanism and Machine Theory, 104, pp. 222-233.
- [85] Gan D., Liao Q., Dai J.S., Wei S., Seneviratne L.D. (2009). *Forward displacement analysis of the general 6-6 Stewart mechanism using Grobner bases*. Mechanism and Machine Theory, 44(9), pp. 1640-1647.
- [86] Lee T.Y., Shim J.K. (2001). *Forward kinematics of the general 6-6 Stewart platform using algebraic elimination*. Mechanism and Machine Theory, 36(9), pp. 1073-1085.
- [87] Zhou W., Chen W., Liu H., Li, X. (2015). *A new forward kinematic algorithm for a general Stewart platform*. Mechanism and Machine Theory, 87, pp. 177-190.
- [88] Dong X., Yu J., Chen B., Zong G. (2012). *Geometric approach for kinematic analysis of a class of 2-DOF rotational parallel manipulators*. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 25(2), pp. 241-247.
- [89] Ruggiu M., Kong X. (2012). *Mobility and kinematic analysis of a parallel mechanism with both PPR and planar operation modes*. Mechanism and Machine Theory, 55, pp. 77-90.
- [90] Liping W., Huayang X., Liwen G., Yu, Z. (2016). *A novel 3-PUU parallel mechanism and its kinematic issues*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 42, pp. 86-102.
- [91] Parikh P.J., Lam S.S. (2009). *Solving the forward kinematics problem in parallel manipulators using an iterative artificial neural network strategy*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40(5-6), pp. 595-606.
- [92] Rahmani A., Ghanbari A. (2016). *Application of neural network training in forward kinematics simulation for a novel modular hybrid manipulator with experimental validation*. Intelligent Service Robotics, 9(1), pp. 79-91.
- [93] Ferrari D., Giberti H. *A genetic algorithm approach to the kinematic synthesis of a 6-DOF parallel manipulator*. IEEE Conference on Control Applications, 2014, France, Antibes, pp. 222-227.
- [94] Rokbani N., Alimi A.M. (2013). *Inverse kinematics using particle swarm optimization, a statistical analysis*. Procedia Engineering, 64, pp. 1602-1611

- [95] Morell A., Tarokh M., Acosta L. (2013). *Solving the forward kinematics problem in parallel robots using support vector regression*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26(7), pp. 1698-1706.
- [96] Yang C., Zheng S., Jin J., Zhu S., Han J. (2010). *Forward kinematics analysis of parallel manipulator using modified global Newton-Raphson method*. Journal of Central South University of Technology, 17(6), pp.1264-1270.
- [97] Chandra R., Rolland L. (2011). *On solving the forward kinematics of 3RPR planar parallel manipulator using hybrid metaheuristics*. Applied Mathematics and Computation, 217(22), pp. 8997-9008.
- [98] Xiaoyong Wu. *Forward Kinematics Analysis of a Novel 3-DOF Parallel Manipulator*. Scientia Iranica, July 2018.
- [99] Lee C.S., George, Ziegler M. (1984). *Geometric approach in solving inverse kinematics of PUMA robots*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol 6, 1984, pp. 695-706. IEEE.
- [100] Gaurav T., Schaal S. *Inverse kinematics for humanoid robots*. Robotics and Automation, 2000, Proceedings of ICRA'00. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Vol. 1. IEEE.
- [101] Lee K-M., Dharman K. Shah. (1988). *Kinematic analysis of a three-degrees-of-freedom in-parallel actuated manipulator*. IEEE Journal of Robotics and Automation, vol 4.3, pp.354-360, IEEE.
- [102] Wang X., Ming-Lin H., Yu-Hu C. (2008). *On the use of differential evolution for forward kinematics of parallel manipulators*. Applied mathematics and computation 205.2, pp. 760-769.
- [103] Rokbani N., Alimi Adel M. (2012). *IK-PSO, PSO Inverse Kinematics Solver with Application to Biped Gait Generation*. International Journal of Computer Applications, vol 58(22), pp.33-39, November 2012, Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.
- [104] Rokbani N. E., Benbousaada B., Ammar, Alimi Adel M. *Biped robot control using particle swarm optimization*. Proceedings of the IEEE Conference on, Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010, pp.506-512. IEEE.

- [105] Hami Tourajizadeh, Mahdi Yousefzadeh, Ali Tajik (2016). *Closed Loop Optimal Control of a Stewart Platform Using an Optimal Feedback Linearization Method*. International Journal of Advanced Robotic Systems. 09 April 2016. 10.5772/63546
- [106] K.H. Hunt (1978). *Kinematic Geometry of Mechanism*. Oxford University Press, Oxford.
- [107] J. J. Slob (2008). *State-of-the-Art Driving Simulators, a Literature Survey*. DCT Report 2008. 107, Eindhoven University of Technology.
- [108] G. Lebrete, K. Liu, F.L. Lewis (1993). *Dynamic Analysis and Control of a Stewart Platform Manipulator*. Journal of Robotic Systems, Vol. 10, No. 5, pp. 629-655.
- [109] A. Ghobakhloo, M. Eghtesad, M. Azadi (2006). *Adaptative-Robust Control of the Stewart-Gough Platform as a six DOF Parallel Robot*. World Automation Congress, pp. 1-6.
- [110] J. H. Ryu, J. Song, D.S. Kwon (2001). *A Nonlinear Friction Compensation Method Using Adaptive Control and its Practical Application to an In-Parallel Actuated 6-DOF Manipulator*. Control Engineering Practice, Vol. 9, pp.159-167.
- [111] D. Wu, H. Gu, P. Li. (2009). *Adaptive Fuzzy Control of Stewart Platform under Actuator Saturation*. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 3, No. 12.
- [112] N.I. Kim, C.-W. Lee, P.H. Chao (1998). *Sliding Mode Control with Perturbation Estimation: Application to Motion Control of a Parallel Manipulator*. Control Engineering Practice, Vol. 6, pp. 1321-1330.
- [113] C.I. Huang, L.C. Fu. *Smooth Sliding Mode Tracking Control of the Stewart Platform*. Proceedings of the 2005 IEEE Conference on Control Applications, 28-31 August 2005, Toronto, Canada, pp. 43-48.
- [114] A. Omran, G. El-Bayiumi, M. Bayoumi, A. Kassem (2008). *Genetic Algorithm Based Optimal Control for a 6-DOF Non Redundant Stewart Manipulator*. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 2, No.1.
- [115] J.J. Rubio, C. Torres, C. Aguilar (2011). *Optimal Control Based in a Mathematical Model Applied to Robotic Arms*. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.7, No.8, pp. 5045-5062.

- [116] G. Zhang, L. Liu, W. Liu (2012). *Linear Quadratic Optimal Control Based on Dynamic Compensation*. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 8, No.5 (B), pp. 3743-3754.
- [117] M.H. Korayem, H. Tourajizadeh (2011). *Maximum DLCC of Spatial Cable Robot for a Predefined Trajectory within the Workspace Using Closed Loop Optimal Control Approach*. Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 63, pp. 75-99.
- [118] S.H. Lee, J.B. Song, W.C. Choi, D. Hong (2003). *Position Control of a Stewart Platform Using Inverse Dynamics Control with Approximate Dynamics*. Mechatronics Vol. 13, pp. 605-619.
- [119] L. Carbonari (2015). *Simplified approach for dynamics estimation of a minor mobility parallel robot*. Mechatronics 30, 76-84.
- [120] N. N. Son, C. Van Kien, H. P. H. Anh. *A novel adaptive feed-forward-pid controller of a scara parallel robot using pneumatic artificial muscle actuator based on neural network and modified differential evolution algorithm*. Robotics and Autonomous Systems.
- [121] H. Zhuang (1997). *Self-calibration of parallel mechanisms with a case study on stewart platforms*. Robotics and Automation, IEEE Transactions on 13 (3) 387-397.
- [122] W. Khalil, D. Murareci (1997). *Autonomous calibration of parallel robots*. In: Proc. 5th IFAC Symp. Robot Control, pp. 425-428.
- [123] P. Renaud, A. Vivas, N. Andreff, P. Poignet, P. Martinet, F. Pierrot, O. Company (2006). *Kinematic and dynamic identification of parallel mechanisms*. Control engineering practice 14 (9) 1099-1109.
- [124] L. Vermeiren, A. Dequidt, M. Afroun, T.-M. Guerra (2012). *Motion control of planar parallel robot using the fuzzy descriptor system approach*. ISA transactions 51 (5) 596-608.
- [125] P.-L. Yen (2008). *A two-loop robust controller for compensation of the variant friction force in an over-constrained parallel kinematic machine*. International Journal of Machine Tools and Manufacture 48 (12) 1354-1365.
- [126] F. Pierrot, V. Nabat, O. Company, S. Krut, P. Poignet (2009). *Optimal design of a 4-dof parallel manipulator: from academia to industry*. Robotics, IEEE Transactions on 25 (2) 213-224.

- [127] L. Ren, J. K. Mills, D. Sun (2008). *Trajectory tracking control for a 3-dof planar parallel manipulator using the convex synchronized control method*. IEEE Transactions on Control Systems Technology 16 (4) 613-623.
- [128] L. Ren, J. K. Mills, D. Sun (2007). *Experimental comparison of control approaches on trajectory tracking control of a 3-dof parallel robot*. IEEE Transactions on Control Systems Technology 15 (5) 982-988.
- [129] Mohammad Sharifzadeh, Mehdi Tale Masouleh, Ahmad Kalhor, Pourya Shahverd (2018). *An Experimental Dynamic Identification & Control of an Overconstrained 3-DOF Parallel Mechanism in Presence of Variable Friction and Feedback Delay*. Robotics and Autonomous Systems. 8 January 2018. ROBOT 2972.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1: Bảng dữ liệu đầu vào để huấn luyện mạng

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,00001	0,00004	0,00007	1,00000	3,00000	6,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,00007	0,00022	0,00044	1,00000	3,00000	6,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,00038	0,00113	0,00225	1,00000	3,00000	6,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,00189	0,00567	0,01135	1,00000	3,00000	6,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,00947	0,02841	0,05681	1,00000	2,99999	6,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,04735	0,14205	0,28412	1,00000	2,99965	5,99989	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,10000	0,29988	0,59996	0,99997	2,99788	5,99932	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,19999	0,59900	1,19968	0,99988	2,99125	5,99720	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,29996	0,89663	1,79892	0,99968	2,97628	5,99240	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,39989	1,19202	2,39744	0,99938	2,95387	5,98521	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,49979	1,48442	2,99500	0,99898	2,92408	5,97562	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,59964	1,77312	3,59137	0,99848	2,88697	5,96364	0,10000	0,29988	0,59996	0,99997	2,99788	5,99932
0,69943	2,05739	4,18629	0,99788	2,84266	5,94927	0,19999	0,59900	1,19968	0,99988	2,99125	5,99720
0,79915	2,33651	4,77955	0,99718	2,79123	5,93253	0,29996	0,89663	1,79892	0,99968	2,97628	5,99240
0,89879	2,60979	5,37089	0,99639	2,73283	5,91341	0,39989	1,19202	2,39744	0,99938	2,95387	5,98521
0,99833	2,87655	5,96008	0,99549	2,66760	5,89193	0,49979	1,48442	2,99500	0,99898	2,92408	5,97562
1,09778	3,13612	6,54689	0,99449	2,59570	5,86809	0,59964	1,77312	3,59137	0,99848	2,88697	5,96364
1,19712	3,38785	7,13108	0,99339	2,51731	5,84190	0,69943	2,05739	4,18629	0,99788	2,84266	5,94927
1,29634	3,63112	7,71242	0,99219	2,43264	5,81338	0,79915	2,33651	4,77955	0,99718	2,79123	5,93253
1,39543	3,86531	8,29067	0,99090	2,34188	5,78253	0,89879	2,60979	5,37089	0,99639	2,73283	5,91341
1,49438	4,08983	8,86561	0,98950	2,24526	5,74937	0,99833	2,87655	5,96008	0,99549	2,66760	5,89193
1,59318	4,30414	9,43700	0,98801	2,14304	5,71391	1,09778	3,13612	6,54689	0,99449	2,59570	5,86809
1,69182	4,50768	10,00461	0,98641	2,03546	5,67616	1,19712	3,38785	7,13108	0,99339	2,51731	5,84190
1,79030	4,69996	10,56823	0,98472	1,92279	5,63614	1,29634	3,63112	7,71242	0,99219	2,43264	5,81338
1,88859	4,88049	11,12761	0,98293	1,80532	5,59387	1,39543	3,86531	8,29067	0,99090	2,34188	5,78253
1,98669	5,04883	11,68255	0,98104	1,68333	5,54936	1,49438	4,08983	8,86561	0,98950	2,24526	5,74937
2,08460	5,20454	12,23281	0,97906	1,55713	5,50263	1,59318	4,30414	9,43700	0,98801	2,14304	5,71391
2,18230	5,34724	12,77818	0,97697	1,42705	5,45370	1,69182	4,50768	10,00461	0,98641	2,03546	5,67616
2,27978	5,47658	13,31844	0,97479	1,29339	5,40259	1,79030	4,69996	10,56823	0,98472	1,92279	5,63614
2,37703	5,59223	13,85338	0,97251	1,15651	5,34932	1,88859	4,88049	11,12761	0,98293	1,80532	5,59387
2,47404	5,69391	14,38277	0,97013	1,01673	5,29391	1,98669	5,04883	11,68255	0,98104	1,68333	5,54936
2,57081	5,78135	14,90640	0,96766	0,87441	5,23638	2,08460	5,20454	12,23281	0,97906	1,55713	5,50263
2,66731	5,85434	15,42408	0,96509	0,72991	5,17676	2,18230	5,34724	12,77818	0,97697	1,42705	5,45370
2,76356	5,91270	15,93559	0,96242	0,58358	5,11506	2,27978	5,47658	13,31844	0,97479	1,29339	5,40259
2,85952	5,95628	16,44072	0,95966	0,43580	5,05132	2,37703	5,59223	13,85338	0,97251	1,15651	5,34932
2,95520	5,98497	16,93927	0,95680	0,28692	4,98556	2,47404	5,69391	14,38277	0,97013	1,01673	5,29391
3,05059	5,99870	17,43105	0,95384	0,13733	4,91781	2,57081	5,78135	14,90640	0,96766	0,87441	5,23638
3,14567	5,99744	17,91586	0,95079	-0,01261	4,84808	2,66731	5,85434	15,42408	0,96509	0,72991	5,17676

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
3,24043	5,98119	18,39351	0,94765	-0,16251	4,77642	2,76356	5,91270	15,93559	0,96242	0,58358	5,11506
3,33487	5,94999	18,86379	0,94441	-0,31201	4,70285	2,85952	5,95628	16,44072	0,95966	0,43580	5,05132
3,42898	5,90392	19,32653	0,94107	-0,46073	4,62740	2,95520	5,98497	16,93927	0,95680	0,28692	4,98556
3,52274	5,84309	19,78154	0,93764	-0,60830	4,55010	3,05059	5,99870	17,43105	0,95384	0,13733	4,91781
3,61615	5,76765	20,22864	0,93412	-0,75435	4,47097	3,14567	5,99744	17,91586	0,95079	-0,01261	4,84808
3,70920	5,67780	20,66764	0,93050	-0,89851	4,39006	3,24043	5,98119	18,39351	0,94765	-0,16251	4,77642
3,80188	5,57376	21,09838	0,92679	-1,04042	4,30739	3,33487	5,94999	18,86379	0,94441	-0,31201	4,70285
3,89418	5,45578	21,52068	0,92299	-1,17974	4,22300	3,42898	5,90392	19,32653	0,94107	-0,46073	4,62740
3,98609	5,32417	21,93437	0,91910	-1,31610	4,13692	3,52274	5,84309	19,78154	0,93764	-0,60830	4,55010
4,07760	5,17926	22,33929	0,91511	-1,44918	4,04919	3,61615	5,76765	20,22864	0,93412	-0,75435	4,47097
4,16871	5,02139	22,73528	0,91103	-1,57863	3,95983	3,70920	5,67780	20,66764	0,93050	-0,89851	4,39006
4,25939	4,85098	23,12217	0,90687	-1,70414	3,86889	3,80188	5,57376	21,09838	0,92679	-1,04042	4,30739
4,34966	4,66844	23,49981	0,90261	-1,82539	3,77641	3,89418	5,45578	21,52068	0,92299	-1,17974	4,22300
4,43948	4,47423	23,86805	0,89826	-1,94208	3,68241	3,98609	5,32417	21,93437	0,91910	-1,31610	4,13692
4,52886	4,26884	24,22674	0,89382	-2,05391	3,58694	4,07760	5,17926	22,33929	0,91511	-1,44918	4,04919
4,61779	4,05278	24,57575	0,88929	-2,16061	3,49004	4,16871	5,02139	22,73528	0,91103	-1,57863	3,95983
4,70626	3,82659	24,91492	0,88467	-2,26191	3,39174	4,25939	4,85098	23,12217	0,90687	-1,70414	3,86889
4,79426	3,59083	25,24413	0,87997	-2,35755	3,29208	4,34966	4,66844	23,49981	0,90261	-1,82539	3,77641
4,88177	3,34610	25,56324	0,87517	-2,44731	3,19111	4,43948	4,47423	23,86805	0,89826	-1,94208	3,68241
4,96880	3,09301	25,87213	0,87029	-2,53094	3,08886	4,52886	4,26884	24,22674	0,89382	-2,05391	3,58694
5,05533	2,83218	26,17066	0,86532	-2,60825	2,98538	4,61779	4,05278	24,57575	0,88929	-2,16061	3,49004
5,14136	2,56428	26,45873	0,86027	-2,67904	2,88070	4,70626	3,82659	24,91492	0,88467	-2,26191	3,39174
5,22687	2,28997	26,73622	0,85512	-2,74313	2,77487	4,79426	3,59083	25,24413	0,87997	-2,35755	3,29208
5,31186	2,00993	27,00301	0,84990	-2,80037	2,66792	4,88177	3,34610	25,56324	0,87517	-2,44731	3,19111
5,39632	1,72487	27,25900	0,84459	-2,85061	2,55992	4,96880	3,09301	25,87213	0,87029	-2,53094	3,08886
5,48024	1,43550	27,50409	0,83919	-2,89372	2,45088	5,05533	2,83218	26,17066	0,86532	-2,60825	2,98538
5,56361	1,14254	27,73818	0,83371	-2,92960	2,34087	5,14136	2,56428	26,45873	0,86027	-2,67904	2,88070
5,64642	0,84672	27,96117	0,82815	-2,95816	2,22992	5,22687	2,28997	26,73622	0,85512	-2,74313	2,77487
5,72867	0,54879	28,17298	0,82250	-2,97932	2,11808	5,31186	2,00993	27,00301	0,84990	-2,80037	2,66792
5,81035	0,24948	28,37352	0,81677	-2,99304	2,00539	5,39632	1,72487	27,25900	0,84459	-2,85061	2,55992
5,89145	-0,05044	28,56271	0,81096	-2,99927	1,89190	5,48024	1,43550	27,50409	0,83919	-2,89372	2,45088
5,97195	-0,35024	28,74048	0,80507	-2,99801	1,77766	5,56361	1,14254	27,73818	0,83371	-2,92960	2,34087
6,05186	-0,64917	28,90675	0,79910	-2,98926	1,66270	5,64642	0,84672	27,96117	0,82815	-2,95816	2,22992
6,13117	-0,94647	29,06145	0,79304	-2,97303	1,54707	5,72867	0,54879	28,17298	0,82250	-2,97932	2,11808
6,20986	-1,24141	29,20454	0,78691	-2,94938	1,43083	5,81035	0,24948	28,37352	0,81677	-2,99304	2,00539
6,28793	-1,53325	29,33594	0,78070	-2,91835	1,31402	5,89145	-0,05044	28,56271	0,81096	-2,99927	1,89190
6,36537	-1,82125	29,45561	0,77442	-2,88002	1,19668	5,97195	-0,35024	28,74048	0,80507	-2,99801	1,77766
6,44218	-2,10470	29,56349	0,76805	-2,83450	1,07886	6,05186	-0,64917	28,90675	0,79910	-2,98926	1,66270
6,51834	-2,38289	29,65955	0,76161	-2,78190	0,96061	6,13117	-0,94647	29,06145	0,79304	-2,97303	1,54707
6,59385	-2,65512	29,74375	0,75509	-2,72234	0,84198	6,20986	-1,24141	29,20454	0,78691	-2,94938	1,43083
6,66870	-2,92072	29,81605	0,74850	-2,65597	0,72300	6,28793	-1,53325	29,33594	0,78070	-2,91835	1,31402
6,74288	-3,17902	29,87643	0,74183	-2,58297	0,60374	6,36537	-1,82125	29,45561	0,77442	-2,88002	1,19668
6,81639	-3,42937	29,92485	0,73508	-2,50351	0,48424	6,44218	-2,10470	29,56349	0,76805	-2,83450	1,07886
6,88921	-3,67115	29,96130	0,72827	-2,41779	0,36455	6,51834	-2,38289	29,65955	0,76161	-2,78190	0,96061

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
6,96135	-3,90375	29,98577	0,72138	-2,32603	0,24471	6,59385	-2,65512	29,74375	0,75509	-2,72234	0,84198
7,03279	-4,12660	29,99825	0,71442	-2,22846	0,12477	6,66870	-2,92072	29,81605	0,74850	-2,65597	0,72300
7,10353	-4,33913	29,99873	0,70739	-2,12532	0,00478	6,74288	-3,17902	29,87643	0,74183	-2,58297	0,60374
7,17356	-4,54081	29,98721	0,70028	-2,01686	-0,11521	6,81639	-3,42937	29,92485	0,73508	-2,50351	0,48424
7,24287	-4,73115	29,96369	0,69311	-1,90337	-0,23516	6,88921	-3,67115	29,96130	0,72827	-2,41779	0,36455
7,31146	-4,90966	29,92819	0,68587	-1,78511	-0,35501	6,96135	-3,90375	29,98577	0,72138	-2,32603	0,24471
7,37931	-5,07590	29,88072	0,67855	-1,66240	-0,47472	7,03279	-4,12660	29,99825	0,71442	-2,22846	0,12477
7,44643	-5,22945	29,82130	0,67117	-1,53552	-0,59424	7,10353	-4,33913	29,99873	0,70739	-2,12532	0,00478
7,51280	-5,36994	29,74994	0,66373	-1,40482	-0,71352	7,17356	-4,54081	29,98721	0,70028	-2,01686	-0,11521
7,57843	-5,49700	29,66669	0,65622	-1,27059	-0,83251	7,24287	-4,73115	29,96369	0,69311	-1,90337	-0,23516
7,64329	-5,61032	29,57158	0,64864	-1,13320	-0,95118	7,31146	-4,90966	29,92819	0,68587	-1,78511	-0,35501
7,70739	-5,70961	29,46463	0,64099	-0,99297	-1,06946	7,37931	-5,07590	29,88072	0,67855	-1,66240	-0,47472
7,77072	-5,79464	29,34590	0,63329	-0,85026	-1,18731	7,44643	-5,22945	29,82130	0,67117	-1,53552	-0,59424
7,83327	-5,86518	29,21543	0,62552	-0,70542	-1,30469	7,51280	-5,36994	29,74994	0,66373	-1,40482	-0,71352
7,89504	-5,92106	29,07327	0,61768	-0,55882	-1,42155	7,57843	-5,49700	29,66669	0,65622	-1,27059	-0,83251
7,95602	-5,96215	28,91949	0,60979	-0,41083	-1,53784	7,64329	-5,61032	29,57158	0,64864	-1,13320	-0,95118
8,01620	-5,98833	28,75414	0,60183	-0,26181	-1,65351	7,70739	-5,70961	29,46463	0,64099	-0,99297	-1,06946
8,07558	-5,99954	28,57729	0,59382	-0,11213	-1,76853	7,77072	-5,79464	29,34590	0,63329	-0,85026	-1,18731
8,13416	-5,99576	28,38900	0,58574	0,03783	-1,88283	7,83327	-5,86518	29,21543	0,62552	-0,70542	-1,30469
8,19192	-5,97699	28,18936	0,57761	0,18769	-1,99638	7,89504	-5,92106	29,07327	0,61768	-0,55882	-1,42155
8,24886	-5,94328	27,97845	0,56941	0,33708	-2,10914	7,95602	-5,96215	28,91949	0,60979	-0,41083	-1,53784
8,30497	-5,89472	27,75635	0,56117	0,48564	-2,22105	8,01620	-5,98833	28,75414	0,60183	-0,26181	-1,65351
8,36026	-5,83142	27,52314	0,55286	0,63297	-2,33207	8,07558	-5,99954	28,57729	0,59382	-0,11213	-1,76853
8,41471	-5,75355	27,27892	0,54450	0,77873	-2,44216	8,13416	-5,99576	28,38900	0,58574	0,03783	-1,88283
8,46832	-5,66129	27,02380	0,53609	0,92254	-2,55127	8,19192	-5,97699	28,18936	0,57761	0,18769	-1,99638
8,52108	-5,55489	26,75786	0,52762	1,06404	-2,65936	8,24886	-5,94328	27,97845	0,56941	0,33708	-2,10914
8,57299	-5,43460	26,48122	0,51910	1,20288	-2,76639	8,30497	-5,89472	27,75635	0,56117	0,48564	-2,22105
8,62404	-5,30073	26,19399	0,51052	1,33872	-2,87231	8,36026	-5,83142	27,52314	0,55286	0,63297	-2,33207
8,67423	-5,15361	25,89628	0,50190	1,47121	-2,97708	8,41471	-5,75355	27,27892	0,54450	0,77873	-2,44216
8,72355	-4,99360	25,58821	0,49323	1,60002	-3,08067	8,46832	-5,66129	27,02380	0,53609	0,92254	-2,55127
8,77201	-4,82112	25,26991	0,48450	1,72484	-3,18301	8,52108	-5,55489	26,75786	0,52762	1,06404	-2,65936
8,81958	-4,63659	24,94150	0,47573	1,84534	-3,28409	8,57299	-5,43460	26,48122	0,51910	1,20288	-2,76639
8,86627	-4,44046	24,60312	0,46691	1,96123	-3,38385	8,62404	-5,30073	26,19399	0,51052	1,33872	-2,87231
8,91207	-4,23324	24,25489	0,45804	2,07222	-3,48226	8,67423	-5,15361	25,89628	0,50190	1,47121	-2,97708
8,95699	-4,01544	23,89696	0,44913	2,17803	-3,57928	8,72355	-4,99360	25,58821	0,49323	1,60002	-3,08067
9,00100	-3,78760	23,52948	0,44018	2,27839	-3,67486	8,77201	-4,82112	25,26991	0,48450	1,72484	-3,18301
9,04412	-3,55029	23,15258	0,43117	2,37306	-3,76898	8,81958	-4,63659	24,94150	0,47573	1,84534	-3,28409
9,08633	-3,30411	22,76642	0,42213	2,46180	-3,86159	8,86627	-4,44046	24,60312	0,46691	1,96123	-3,38385
9,12764	-3,04967	22,37116	0,41304	2,54439	-3,95265	8,91207	-4,23324	24,25489	0,45804	2,07222	-3,48226
9,16803	-2,78761	21,96694	0,40392	2,62061	-4,04213	8,95699	-4,01544	23,89696	0,44913	2,17803	-3,57928
9,20751	-2,51858	21,55394	0,39475	2,69029	-4,13000	9,00100	-3,78760	23,52948	0,44018	2,27839	-3,67486
9,24606	-2,24326	21,13232	0,38554	2,75324	-4,21621	9,04412	-3,55029	23,15258	0,43117	2,37306	-3,76898
9,28369	-1,96233	20,70225	0,37630	2,80931	-4,30073	9,08633	-3,30411	22,76642	0,42213	2,46180	-3,86159
9,32039	-1,67649	20,26390	0,36701	2,85836	-4,38354	9,12764	-3,04967	22,37116	0,41304	2,54439	-3,95265

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
9,35616	-1,38647	19,81744	0,35769	2,90026	-4,46459	9,16803	-2,78761	21,96694	0,40392	2,62061	-4,04213
9,39099	-1,09298	19,36305	0,34834	2,93492	-4,54386	9,20751	-2,51858	21,55394	0,39475	2,69029	-4,13000
9,42489	-0,79675	18,90092	0,33894	2,96224	-4,62131	9,24606	-2,24326	21,13232	0,38554	2,75324	-4,21621
9,45784	-0,49854	18,43123	0,32952	2,98215	-4,69691	9,28369	-1,96233	20,70225	0,37630	2,80931	-4,30073
9,48985	-0,19908	17,95416	0,32006	2,99461	-4,77063	9,32039	-1,67649	20,26390	0,36701	2,85836	-4,38354
9,52090	0,10088	17,46992	0,31057	2,99959	-4,84245	9,35616	-1,38647	19,81744	0,35769	2,90026	-4,46459
9,55101	0,40059	16,97869	0,30105	2,99707	-4,91233	9,39099	-1,09298	19,36305	0,34834	2,93492	-4,54386
9,58016	0,69930	16,48066	0,29150	2,98705	-4,98024	9,42489	-0,79675	18,90092	0,33894	2,96224	-4,62131
9,60835	0,99625	15,97605	0,28192	2,96957	-5,04616	9,45784	-0,49854	18,43123	0,32952	2,98215	-4,69691
9,63558	1,29072	15,46504	0,27231	2,94467	-5,11006	9,48985	-0,19908	17,95416	0,32006	2,99461	-4,77063
9,66185	1,58196	14,94785	0,26268	2,91241	-5,17192	9,52090	0,10088	17,46992	0,31057	2,99959	-4,84245
9,68715	1,86925	14,42468	0,25301	2,87287	-5,23171	9,55101	0,40059	16,97869	0,30105	2,99707	-4,91233
9,71148	2,15186	13,89574	0,24333	2,82615	-5,28941	9,58016	0,69930	16,48066	0,29150	2,98705	-4,98024
9,73485	2,42910	13,36124	0,23362	2,77236	-5,34499	9,60835	0,99625	15,97605	0,28192	2,96957	-5,04616
9,75723	2,70026	12,82140	0,22388	2,71165	-5,39843	9,63558	1,29072	15,46504	0,27231	2,94467	-5,11006
9,77865	2,96468	12,27643	0,21412	2,64416	-5,44971	9,66185	1,58196	14,94785	0,26268	2,91241	-5,17192
9,79908	3,22169	11,72654	0,20435	2,57006	-5,49882	9,68715	1,86925	14,42468	0,25301	2,87287	-5,23171
9,81854	3,47064	11,17197	0,19455	2,48953	-5,54572	9,71148	2,15186	13,89574	0,24333	2,82615	-5,28941
9,83701	3,71092	10,61293	0,18473	2,40278	-5,59041	9,73485	2,42910	13,36124	0,23362	2,77236	-5,34499
9,85450	3,94192	10,04964	0,17489	2,31003	-5,63286	9,75723	2,70026	12,82140	0,22388	2,71165	-5,39843
9,87100	4,16307	9,48234	0,16504	2,21150	-5,67306	9,77865	2,96468	12,27643	0,21412	2,64416	-5,44971
9,88652	4,37381	8,91124	0,15517	2,10745	-5,71098	9,79908	3,22169	11,72654	0,20435	2,57006	-5,49882
9,90105	4,57363	8,33658	0,14528	1,99812	-5,74663	9,81854	3,47064	11,17197	0,19455	2,48953	-5,54572
9,91458	4,76201	7,75858	0,13538	1,88381	-5,77997	9,83701	3,71092	10,61293	0,18473	2,40278	-5,59041
9,92713	4,93849	7,17748	0,12546	1,76478	-5,81101	9,85450	3,94192	10,04964	0,17489	2,31003	-5,63286
9,93868	5,10262	6,59351	0,11554	1,64134	-5,83972	9,87100	4,16307	9,48234	0,16504	2,21150	-5,67306
9,94924	5,25400	6,00690	0,10560	1,51381	-5,86609	9,88652	4,37381	8,91124	0,15517	2,10745	-5,71098
9,95881	5,39225	5,41789	0,09565	1,38248	-5,89012	9,90105	4,57363	8,33658	0,14528	1,99812	-5,74663
9,96738	5,51702	4,82671	0,08569	1,24770	-5,91179	9,91458	4,76201	7,75858	0,13538	1,88381	-5,77997
9,97495	5,62800	4,23360	0,07572	1,10981	-5,93109	9,92713	4,93849	7,17748	0,12546	1,76478	-5,81101
9,98152	5,72491	3,63880	0,06575	0,96914	-5,94803	9,93868	5,10262	6,59351	0,11554	1,64134	-5,83972
9,98710	5,80752	3,04254	0,05577	0,82604	-5,96258	9,94924	5,25400	6,00690	0,10560	1,51381	-5,86609
9,99168	5,87561	2,44506	0,04578	0,68089	-5,97475	9,95881	5,39225	5,41789	0,09565	1,38248	-5,89012
9,99526	5,92901	1,84661	0,03579	0,53403	-5,98453	9,96738	5,51702	4,82671	0,08569	1,24770	-5,91179
9,99784	5,96759	1,24742	0,02579	0,38583	-5,99192	9,97495	5,62800	4,23360	0,07572	1,10981	-5,93109
9,99942	5,99126	0,64773	0,01580	0,23667	-5,99691	9,98152	5,72491	3,63880	0,06575	0,96914	-5,94803
#####	5,99995	0,04778	0,00580	0,08692	-5,99950	9,98710	5,80752	3,04254	0,05577	0,82604	-5,96258
9,99958	5,99365	-0,55219	-0,00420	-0,06304	-5,99969	9,99168	5,87561	2,44506	0,04578	0,68089	-5,97475
9,99816	5,97236	-1,15194	-0,01420	-0,21285	-5,99748	9,99526	5,92901	1,84661	0,03579	0,53403	-5,98453
9,99574	5,93615	-1,75122	-0,02420	-0,36213	-5,99287	9,99784	5,96759	1,24742	0,02579	0,38583	-5,99192
9,99232	5,88510	-2,34981	-0,03420	-0,51050	-5,98587	9,99942	5,99126	0,64773	0,01580	0,23667	-5,99691
9,98790	5,81934	-2,94746	-0,04419	-0,65760	-5,97647	10,00000	5,99995	0,04778	0,00580	0,08692	-5,99950
9,98248	5,73903	-3,54393	-0,05418	-0,80305	-5,96468	9,99958	5,99365	-0,55219	-0,00420	-0,06304	-5,99969
9,97606	5,64438	-4,13898	-0,06416	-0,94650	-5,95050	9,99816	5,97236	-1,15194	-0,01420	-0,21285	-5,99748

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
9,96865	5,53563	-4,73237	-0,07414	-1,08758	-5,93395	9,99574	5,93615	-1,75122	-0,02420	-0,36213	-5,99287
9,96024	5,41303	-5,32387	-0,08410	-1,22594	-5,91502	9,99232	5,88510	-2,34981	-0,03420	-0,51050	-5,98587
9,95083	5,27691	-5,91325	-0,09406	-1,36124	-5,89372	9,98790	5,81934	-2,94746	-0,04419	-0,65760	-5,97647
9,94043	5,12759	-6,50025	-0,10401	-1,49314	-5,87007	9,98248	5,73903	-3,54393	-0,05418	-0,80305	-5,96468
9,92904	4,96546	-7,08466	-0,11396	-1,62130	-5,84407	9,97606	5,64438	-4,13898	-0,06416	-0,94650	-5,95050
9,91665	4,79092	-7,66623	-0,12388	-1,74541	-5,81573	9,96865	5,53563	-4,73237	-0,07414	-1,08758	-5,93395
9,90327	4,60441	-8,24474	-0,13380	-1,86516	-5,78507	9,96024	5,41303	-5,32387	-0,08410	-1,22594	-5,91502
9,88890	4,40638	-8,81995	-0,14370	-1,98024	-5,75209	9,95083	5,27691	-5,91325	-0,09406	-1,36124	-5,89372
9,87354	4,19734	-9,39163	-0,15359	-2,09038	-5,71681	9,94043	5,12759	-6,50025	-0,10401	-1,49314	-5,87007
9,85719	3,97782	-9,95956	-0,16347	-2,19529	-5,67925	9,92904	4,96546	-7,08466	-0,11396	-1,62130	-5,84407
9,83986	3,74834	-10,52350	-0,17332	-2,29472	-5,63941	9,91665	4,79092	-7,66623	-0,12388	-1,74541	-5,81573
9,82154	3,50950	-11,08323	-0,18316	-2,38841	-5,59732	9,90327	4,60441	-8,24474	-0,13380	-1,86516	-5,78507
9,80224	3,26189	-11,63853	-0,19298	-2,47612	-5,55299	9,88890	4,40638	-8,81995	-0,14370	-1,98024	-5,75209
9,78197	3,00613	-12,18917	-0,20279	-2,55766	-5,50644	9,87354	4,19734	-9,39163	-0,15359	-2,09038	-5,71681
9,76071	2,74285	-12,73494	-0,21257	-2,63279	-5,45768	9,85719	3,97782	-9,95956	-0,16347	-2,19529	-5,67925
9,73848	2,47271	-13,27561	-0,22233	-2,70135	-5,40674	9,83986	3,74834	-10,52350	-0,17332	-2,29472	-5,63941
9,71527	2,19640	-13,81098	-0,23207	-2,76315	-5,35364	9,82154	3,50950	-11,08323	-0,18316	-2,38841	-5,59732
9,69109	1,91459	-14,34082	-0,24178	-2,81805	-5,29840	9,80224	3,26189	-11,63853	-0,19298	-2,47612	-5,55299
9,66594	1,62800	-14,86492	-0,25147	-2,86591	-5,24104	9,78197	3,00613	-12,18917	-0,20279	-2,55766	-5,50644
9,63983	1,33734	-15,38308	-0,26114	-2,90660	-5,18158	9,76071	2,74285	-12,73494	-0,21257	-2,63279	-5,45768
9,61275	1,04334	-15,89508	-0,27078	-2,94003	-5,12005	9,73848	2,47271	-13,27561	-0,22233	-2,70135	-5,40674
9,58471	0,74673	-16,40073	-0,28039	-2,96610	-5,05647	9,71527	2,19640	-13,81098	-0,23207	-2,76315	-5,35364
9,55572	0,44825	-16,89982	-0,28998	-2,98477	-4,99087	9,69109	1,91459	-14,34082	-0,24178	-2,81805	-5,29840
9,52576	0,14865	-17,39215	-0,29953	-2,99597	-4,92327	9,66594	1,62800	-14,86492	-0,25147	-2,86591	-5,24104
9,49486	-0,15132	-17,87752	-0,30906	-2,99969	-4,85371	9,63983	1,33734	-15,38308	-0,26114	-2,90660	-5,18158
9,46300	-0,45091	-18,35574	-0,31855	-2,99591	-4,78220	9,61275	1,04334	-15,89508	-0,27078	-2,94003	-5,12005
9,43020	-0,74937	-18,82661	-0,32802	-2,98463	-4,70878	9,58471	0,74673	-16,40073	-0,28039	-2,96610	-5,05647
9,39645	-1,04596	-19,28996	-0,33745	-2,96590	-4,63348	9,55572	0,44825	-16,89982	-0,28998	-2,98477	-4,99087
9,36177	-1,33994	-19,74559	-0,34684	-2,93976	-4,55632	9,52576	0,14865	-17,39215	-0,29953	-2,99597	-4,92327
9,32615	-1,63056	-20,19333	-0,35620	-2,90627	-4,47734	9,49486	-0,15132	-17,87752	-0,30906	-2,99969	-4,85371
9,28960	-1,91712	-20,63298	-0,36553	-2,86551	-4,39657	9,46300	-0,45091	-18,35574	-0,31855	-2,99591	-4,78220
9,25212	-2,19887	-21,06439	-0,37482	-2,81760	-4,31404	9,43020	-0,74937	-18,82661	-0,32802	-2,98463	-4,70878
9,21371	-2,47514	-21,48737	-0,38407	-2,76264	-4,22978	9,39645	-1,04596	-19,28996	-0,33745	-2,96590	-4,63348
9,17438	-2,74522	-21,90175	-0,39329	-2,70077	-4,14384	9,36177	-1,33994	-19,74559	-0,34684	-2,93976	-4,55632
9,13413	-3,00843	-22,30737	-0,40246	-2,63215	-4,05623	9,32615	-1,63056	-20,19333	-0,35620	-2,90627	-4,47734
9,09297	-3,26413	-22,70407	-0,41159	-2,55696	-3,96701	9,28960	-1,91712	-20,63298	-0,36553	-2,86551	-4,39657
9,05091	-3,51166	-23,09169	-0,42069	-2,47537	-3,87619	9,25212	-2,19887	-21,06439	-0,37482	-2,81760	-4,31404
9,00793	-3,75042	-23,47008	-0,42974	-2,38760	-3,78383	9,21371	-2,47514	-21,48737	-0,38407	-2,76264	-4,22978
8,96406	-3,97981	-23,83907	-0,43875	-2,29386	-3,68995	9,17438	-2,74522	-21,90175	-0,39329	-2,70077	-4,14384
8,91929	-4,19925	-24,19853	-0,44771	-2,19438	-3,59460	9,13413	-3,00843	-22,30737	-0,40246	-2,63215	-4,05623
8,87362	-4,40819	-24,54831	-0,45663	-2,08942	-3,49781	9,09297	-3,26413	-22,70407	-0,41159	-2,55696	-3,96701
8,82707	-4,60611	-24,88828	-0,46550	-1,97924	-3,39962	9,05091	-3,51166	-23,09169	-0,42069	-2,47537	-3,87619
8,77964	-4,79253	-25,21828	-0,47433	-1,86411	-3,30007	9,00793	-3,75042	-23,47008	-0,42974	-2,38760	-3,78383
8,73133	-4,96696	-25,53820	-0,48311	-1,74433	-3,19920	8,96406	-3,97981	-23,83907	-0,43875	-2,29386	-3,68995

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
8,68215	-5,12898	-25,84791	-0,49184	-1,62018	-3,09705	8,91929	-4,19925	-24,19853	-0,44771	-2,19438	-3,59460
8,63209	-5,27817	-26,14727	-0,50052	-1,49198	-2,99366	8,87362	-4,40819	-24,54831	-0,45663	-2,08942	-3,49781
8,58118	-5,41418	-26,43618	-0,50915	-1,36005	-2,88908	8,82707	-4,60611	-24,88828	-0,46550	-1,97924	-3,39962
8,52940	-5,53665	-26,71451	-0,51773	-1,22473	-2,78333	8,77964	-4,79253	-25,21828	-0,47433	-1,86411	-3,30007
8,47678	-5,64529	-26,98216	-0,52626	-1,08634	-2,67648	8,73133	-4,96696	-25,53820	-0,48311	-1,74433	-3,19920
8,42330	-5,73981	-27,23902	-0,53474	-0,94524	-2,56856	8,68215	-5,12898	-25,84791	-0,49184	-1,62018	-3,09705
8,36899	-5,81999	-27,48498	-0,54316	-0,80177	-2,45960	8,63209	-5,27817	-26,14727	-0,50052	-1,49198	-2,99366
8,31383	-5,88562	-27,71994	-0,55153	-0,65630	-2,34967	8,58118	-5,41418	-26,43618	-0,50915	-1,36005	-2,88908
8,25785	-5,93654	-27,94382	-0,55985	-0,50919	-2,23879	8,52940	-5,53665	-26,71451	-0,51773	-1,22473	-2,78333
8,20104	-5,97262	-28,15653	-0,56810	-0,36081	-2,12702	8,47678	-5,64529	-26,98216	-0,52626	-1,08634	-2,67648
8,14341	-5,99377	-28,35797	-0,57631	-0,21153	-2,01440	8,42330	-5,73981	-27,23902	-0,53474	-0,94524	-2,56856
8,08496	-5,99994	-28,54806	-0,58445	-0,06171	-1,90097	8,36899	-5,81999	-27,48498	-0,54316	-0,80177	-2,45960
8,02571	-5,99112	-28,72674	-0,59253	0,08826	-1,78678	8,31383	-5,88562	-27,71994	-0,55153	-0,65630	-2,34967
7,96565	-5,96732	-28,89393	-0,60056	0,23800	-1,67188	8,25785	-5,93654	-27,94382	-0,55985	-0,50919	-2,23879
7,90480	-5,92860	-29,04956	-0,60852	0,38715	-1,55631	8,20104	-5,97262	-28,15653	-0,56810	-0,36081	-2,12702
7,84316	-5,87507	-29,19357	-0,61643	0,53534	-1,44011	8,14341	-5,99377	-28,35797	-0,57631	-0,21153	-2,01440
7,78073	-5,80685	-29,32590	-0,62427	0,68218	-1,32334	8,08496	-5,99994	-28,54806	-0,58445	-0,06171	-1,90097
7,71753	-5,72412	-29,44651	-0,63205	0,82732	-1,20604	8,02571	-5,99112	-28,72674	-0,59253	0,08826	-1,78678
7,65355	-5,62708	-29,55533	-0,63977	0,97040	-1,08826	7,96565	-5,96732	-28,89393	-0,60056	0,23800	-1,67188
7,58881	-5,51597	-29,65234	-0,64742	1,11105	-0,97004	7,90480	-5,92860	-29,04956	-0,60852	0,38715	-1,55631
7,52331	-5,39108	-29,73748	-0,65501	1,24892	-0,85144	7,84316	-5,87507	-29,19357	-0,61643	0,53534	-1,44011
7,45705	-5,25271	-29,81073	-0,66254	1,38366	-0,73249	7,78073	-5,80685	-29,32590	-0,62427	0,68218	-1,32334
7,39005	-5,10122	-29,87206	-0,66999	1,51496	-0,61325	7,71753	-5,72412	-29,44651	-0,63205	0,82732	-1,20604
7,32231	-4,93697	-29,92143	-0,67738	1,64246	-0,49377	7,65355	-5,62708	-29,55533	-0,63977	0,97040	-1,08826
7,25384	-4,76039	-29,95884	-0,68471	1,76586	-0,37408	7,58881	-5,51597	-29,65234	-0,64742	1,11105	-0,97004
7,18465	-4,57190	-29,98427	-0,69196	1,88484	-0,25425	7,52331	-5,39108	-29,73748	-0,65501	1,24892	-0,85144
7,11473	-4,37199	-29,99770	-0,69914	1,99912	-0,13432	7,45705	-5,25271	-29,81073	-0,66254	1,38366	-0,73249
7,04411	-4,16115	-29,99913	-0,70626	2,10839	-0,01433	7,39005	-5,10122	-29,87206	-0,66999	1,51496	-0,61325
6,97278	-3,93991	-29,98857	-0,71330	2,21240	0,10566	7,32231	-4,93697	-29,92143	-0,67738	1,64246	-0,49377
6,90075	-3,70882	-29,96600	-0,72028	2,31088	0,22561	7,25384	-4,76039	-29,95884	-0,68471	1,76586	-0,37408
6,82803	-3,46846	-29,93146	-0,72718	2,40358	0,34547	7,18465	-4,57190	-29,98427	-0,69196	1,88484	-0,25425
6,75463	-3,21944	-29,88494	-0,73400	2,49027	0,46519	7,11473	-4,37199	-29,99770	-0,69914	1,99912	-0,13432
6,68056	-2,96236	-29,82647	-0,74076	2,57074	0,58473	7,04411	-4,16115	-29,99913	-0,70626	2,10839	-0,01433
6,60581	-2,69788	-29,75606	-0,74744	2,64479	0,70403	6,97278	-3,93991	-29,98857	-0,71330	2,21240	0,10566
6,53041	-2,42666	-29,67376	-0,75404	2,71222	0,82305	6,90075	-3,70882	-29,96600	-0,72028	2,31088	0,22561
6,45435	-2,14938	-29,57958	-0,76058	2,77287	0,94174	6,82803	-3,46846	-29,93146	-0,72718	2,40358	0,34547
6,37765	-1,86672	-29,47358	-0,76703	2,82660	1,06005	6,75463	-3,21944	-29,88494	-0,73400	2,49027	0,46519
6,30031	-1,57939	-29,35578	-0,77341	2,87325	1,17794	6,68056	-2,96236	-29,82647	-0,74076	2,57074	0,58473
6,22234	-1,28812	-29,22625	-0,77971	2,91273	1,29536	6,60581	-2,69788	-29,75606	-0,74744	2,64479	0,70403
6,14374	-0,99363	-29,08502	-0,78593	2,94493	1,41227	6,53041	-2,42666	-29,67376	-0,75404	2,71222	0,82305
6,06454	-0,69665	-28,93216	-0,79207	2,96976	1,52860	6,45435	-2,14938	-29,57958	-0,76058	2,77287	0,94174
5,98472	-0,39793	-28,76773	-0,79814	2,98717	1,64433	6,37765	-1,86672	-29,47358	-0,76703	2,82660	1,06005
5,90431	-0,09822	-28,59179	-0,80412	2,99712	1,75939	6,30031	-1,57939	-29,35578	-0,77341	2,87325	1,17794
5,82331	0,20174	-28,40441	-0,81003	2,99958	1,87376	6,22234	-1,28812	-29,22625	-0,77971	2,91273	1,29536

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
5,74172	0,50119	-28,20568	-0,81585	2,99453	1,98737	6,14374	-0,99363	-29,08502	-0,78593	2,94493	1,41227
5,65956	0,79939	-27,99566	-0,82159	2,98201	2,10019	6,06454	-0,69665	-28,93216	-0,79207	2,96976	1,52860
5,57684	1,09559	-27,77444	-0,82725	2,96203	2,21217	5,98472	-0,39793	-28,76773	-0,79814	2,98717	1,64433
5,49355	1,38906	-27,54211	-0,83283	2,93464	2,32326	5,90431	-0,09822	-28,59179	-0,80412	2,99712	1,75939
5,40972	1,67905	-27,29877	-0,83832	2,89992	2,43343	5,82331	0,20174	-28,40441	-0,81003	2,99958	1,87376
5,32535	1,96485	-27,04451	-0,84373	2,85795	2,54262	5,74172	0,50119	-28,20568	-0,81585	2,99453	1,98737
5,24044	2,24573	-26,77943	-0,84906	2,80884	2,65079	5,65956	0,79939	-27,99566	-0,82159	2,98201	2,10019
5,15501	2,52100	-26,50364	-0,85430	2,75271	2,75791	5,57684	1,09559	-27,77444	-0,82725	2,96203	2,21217
5,06907	2,78997	-26,21725	-0,85945	2,68970	2,86392	5,49355	1,38906	-27,54211	-0,83283	2,93464	2,32326
4,98262	3,05197	-25,92037	-0,86452	2,61997	2,96878	5,40972	1,67905	-27,29877	-0,83832	2,89992	2,43343
4,89567	3,30634	-25,61312	-0,86950	2,54368	3,07246	5,32535	1,96485	-27,04451	-0,84373	2,85795	2,54262
4,80823	3,55244	-25,29563	-0,87440	2,46104	3,17491	5,24044	2,24573	-26,77943	-0,84906	2,80884	2,65079
4,72031	3,78967	-24,96802	-0,87921	2,37225	3,27609	5,15501	2,52100	-26,50364	-0,85430	2,75271	2,75791
4,63191	4,01742	-24,63043	-0,88393	2,27753	3,37596	5,06907	2,78997	-26,21725	-0,85945	2,68970	2,86392
4,54306	4,23513	-24,28298	-0,88856	2,17711	3,47448	4,98262	3,05197	-25,92037	-0,86452	2,61997	2,96878
4,45375	4,44226	-23,92582	-0,89310	2,07126	3,57161	4,89567	3,30634	-25,61312	-0,86950	2,54368	3,07246
4,36399	4,63828	-23,55909	-0,89756	1,96022	3,66731	4,80823	3,55244	-25,29563	-0,87440	2,46104	3,17491
4,27380	4,82271	-23,18293	-0,90192	1,84429	3,76154	4,72031	3,78967	-24,96802	-0,87921	2,37225	3,27609
4,18318	4,99508	-22,79751	-0,90619	1,72375	3,85427	4,63191	4,01742	-24,63043	-0,88393	2,27753	3,37596
4,09214	5,15497	-22,40296	-0,91038	1,59890	3,94545	4,54306	4,23513	-24,28298	-0,88856	2,17711	3,47448
4,00069	5,30198	-21,99946	-0,91447	1,47005	4,03506	4,45375	4,44226	-23,92582	-0,89310	2,07126	3,57161
3,90885	5,43573	-21,58715	-0,91847	1,33753	4,12306	4,36399	4,63828	-23,55909	-0,89756	1,96022	3,66731
3,81661	5,55589	-21,16621	-0,92238	1,20166	4,20940	4,27380	4,82271	-23,18293	-0,90192	1,84429	3,76154
3,72399	5,66217	-20,73680	-0,92620	1,06279	4,29407	4,18318	4,99508	-22,79751	-0,90619	1,72375	3,85427
3,63100	5,75430	-20,29910	-0,92992	0,92127	4,37701	4,09214	5,15497	-22,40296	-0,91038	1,59890	3,94545
3,53764	5,83205	-19,85328	-0,93355	0,77744	4,45820	4,00069	5,30198	-21,99946	-0,91447	1,47005	4,03506
3,44393	5,89521	-19,39952	-0,93709	0,63167	4,53761	3,90885	5,43573	-21,58715	-0,91847	1,33753	4,12306
3,34988	5,94364	-18,93800	-0,94053	0,48432	4,61521	3,81661	5,55589	-21,16621	-0,92238	1,20166	4,20940
3,25549	5,97722	-18,46890	-0,94388	0,33576	4,69096	3,72399	5,66217	-20,73680	-0,92620	1,06279	4,29407
3,16078	5,99586	-17,99242	-0,94714	0,18636	4,76483	3,63100	5,75430	-20,29910	-0,92992	0,92127	4,37701
3,06575	5,99951	-17,50874	-0,95030	0,03650	4,83680	3,53764	5,83205	-19,85328	-0,93355	0,77744	4,45820
2,97041	5,98816	-17,01806	-0,95336	-0,11346	4,90683	3,44393	5,89521	-19,39952	-0,93709	0,63167	4,53761
2,87478	5,96185	-16,52057	-0,95633	-0,26313	4,97490	3,34988	5,94364	-18,93800	-0,94053	0,48432	4,61521
2,77886	5,92063	-16,01647	-0,95921	-0,41215	5,04098	3,25549	5,97722	-18,46890	-0,94388	0,33576	4,69096
2,68266	5,86462	-15,50596	-0,96199	-0,56013	5,10505	3,16078	5,99586	-17,99242	-0,94714	0,18636	4,76483
2,58619	5,79395	-14,98926	-0,96467	-0,70672	5,16707	3,06575	5,99951	-17,50874	-0,95030	0,03650	4,83680
2,48947	5,70879	-14,46655	-0,96726	-0,85154	5,22702	2,97041	5,98816	-17,01806	-0,95336	-0,11346	4,90683
2,39249	5,60937	-13,93807	-0,96975	-0,99423	5,28489	2,87478	5,96185	-16,52057	-0,95633	-0,26313	4,97490
2,29528	5,49593	-13,40400	-0,97214	-1,13443	5,34064	2,77886	5,92063	-16,01647	-0,95921	-0,41215	5,04098
2,19784	5,36875	-12,86458	-0,97443	-1,27180	5,39425	2,68266	5,86462	-15,50596	-0,96199	-0,56013	5,10505
2,10017	5,22815	-12,32001	-0,97663	-1,40599	5,44571	2,58619	5,79395	-14,98926	-0,96467	-0,70672	5,16707
2,00230	5,07448	-11,77051	-0,97873	-1,53667	5,49499	2,48947	5,70879	-14,46655	-0,96726	-0,85154	5,22702
1,90423	4,90813	-11,21630	-0,98073	-1,66350	5,54207	2,39249	5,60937	-13,93807	-0,96975	-0,99423	5,28489
1,80596	4,72951	-10,65761	-0,98264	-1,78618	5,58693	2,29528	5,49593	-13,40400	-0,97214	-1,13443	5,34064

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
1,70752	4,53907	-10,09465	-0,98444	-1,90439	5,62956	2,19784	5,36875	-12,86458	-0,97443	-1,27180	5,39425
1,60890	4,33729	-9,52766	-0,98615	-2,01785	5,66994	2,10017	5,22815	-12,32001	-0,97663	-1,40599	5,44571
1,51013	4,12466	-8,95685	-0,98776	-2,12626	5,70805	2,00230	5,07448	-11,77051	-0,97873	-1,53667	5,49499
1,41120	3,90173	-8,38246	-0,98927	-2,22935	5,74387	1,90423	4,90813	-11,21630	-0,98073	-1,66350	5,54207
1,31213	3,66904	-7,80472	-0,99068	-2,32688	5,77740	1,80596	4,72951	-10,65761	-0,98264	-1,78618	5,58693
1,21293	3,42718	-7,22386	-0,99199	-2,41858	5,80862	1,70752	4,53907	-10,09465	-0,98444	-1,90439	5,62956
1,11361	3,17676	-6,64011	-0,99321	-2,50424	5,83751	1,60890	4,33729	-9,52766	-0,98615	-2,01785	5,66994
1,01418	2,91839	-6,05370	-0,99432	-2,58365	5,86407	1,51013	4,12466	-8,95685	-0,98776	-2,12626	5,70805
0,91465	2,65273	-5,46488	-0,99533	-2,65659	5,88829	1,41120	3,90173	-8,38246	-0,98927	-2,22935	5,74387
0,81502	2,38044	-4,87386	-0,99625	-2,72290	5,91015	1,31213	3,66904	-7,80472	-0,99068	-2,32688	5,77740
0,71532	2,10220	-4,28090	-0,99706	-2,78239	5,92964	1,21293	3,42718	-7,22386	-0,99199	-2,41858	5,80862
0,61554	1,81871	-3,68622	-0,99778	-2,83494	5,94676	1,11361	3,17676	-6,64011	-0,99321	-2,50424	5,83751
0,51570	1,53067	-3,09007	-0,99839	-2,88040	5,96151	1,01418	2,91839	-6,05370	-0,99432	-2,58365	5,86407
0,41581	1,23880	-2,49268	-0,99891	-2,91866	5,97387	0,91465	2,65273	-5,46488	-0,99533	-2,65659	5,88829
0,31587	0,94384	-1,89430	-0,99933	-2,94962	5,98384	0,81502	2,38044	-4,87386	-0,99625	-2,72290	5,91015
0,21591	0,64652	-1,29516	-0,99964	-2,97321	5,99142	0,71532	2,10220	-4,28090	-0,99706	-2,78239	5,92964
0,11592	0,34758	-0,69550	-0,99986	-2,98937	5,99660	0,61554	1,81871	-3,68622	-0,99778	-2,83494	5,94676
0,01593	0,04778	-0,09556	-0,99997	-2,99806	5,99938	0,51570	1,53067	-3,09007	-0,99839	-2,88040	5,96151
-0,08407	-0,25215	0,50442	-0,99999	-2,99925	5,99976	0,41581	1,23880	-2,49268	-0,99891	-2,91866	5,97387
-0,18406	-0,55144	1,10419	-0,99991	-2,99295	5,99774	0,31587	0,94384	-1,89430	-0,99933	-2,94962	5,98384
-0,28404	-0,84936	1,70352	-0,99972	-2,97917	5,99333	0,21591	0,64652	-1,29516	-0,99964	-2,97321	5,99142
-0,38398	-1,14515	2,30218	-0,99944	-2,95794	5,98651	0,11592	0,34758	-0,69550	-0,99986	-2,98937	5,99660
-0,48388	-1,43808	2,89991	-0,99905	-2,92931	5,97730	0,01593	0,04778	-0,09556	-0,99997	-2,99806	5,99938
-0,58374	-1,72742	3,49648	-0,99857	-2,89337	5,96570	-0,08407	-0,25215	0,50442	-0,99999	-2,99925	5,99976
-0,68354	-2,01244	4,09165	-0,99799	-2,85019	5,95172	-0,18406	-0,55144	1,10419	-0,99991	-2,99295	5,99774
-0,78327	-2,29243	4,68518	-0,99730	-2,79989	5,93535	-0,28404	-0,84936	1,70352	-0,99972	-2,97917	5,99333
-0,88292	-2,56669	5,27684	-0,99652	-2,74259	5,91661	-0,38398	-1,14515	2,30218	-0,99944	-2,95794	5,98651
-0,98249	-2,83453	5,86640	-0,99564	-2,67844	5,89551	-0,48388	-1,43808	2,89991	-0,99905	-2,92931	5,97730
-1,08195	-3,09529	6,45360	-0,99465	-2,60759	5,87204	-0,58374	-1,72742	3,49648	-0,99857	-2,89337	5,96570
-1,18131	-3,34831	7,03822	-0,99357	-2,53023	5,84623	-0,68354	-2,01244	4,09165	-0,99799	-2,85019	5,95172
-1,28055	-3,59297	7,62003	-0,99239	-2,44654	5,81808	-0,78327	-2,29243	4,68518	-0,99730	-2,79989	5,93535
-1,37966	-3,82864	8,19879	-0,99111	-2,35673	5,78760	-0,88292	-2,56669	5,27684	-0,99652	-2,74259	5,91661
-1,47863	-4,05474	8,77427	-0,98973	-2,26103	5,75480	-0,98249	-2,83453	5,86640	-0,99564	-2,67844	5,89551
-1,57746	-4,27071	9,34624	-0,98825	-2,15969	5,71971	-1,08195	-3,09529	6,45360	-0,99465	-2,60759	5,87204
-1,67612	-4,47601	9,91447	-0,98667	-2,05294	5,68232	-1,18131	-3,34831	7,03822	-0,99357	-2,53023	5,84623
-1,77462	-4,67011	10,47874	-0,98500	-1,94106	5,64267	-1,28055	-3,59297	7,62003	-0,99239	-2,44654	5,81808
-1,87295	-4,85255	11,03882	-0,98322	-1,82434	5,60075	-1,37966	-3,82864	8,19879	-0,99111	-2,35673	5,78760
-1,97108	-5,02285	11,59448	-0,98135	-1,70305	5,55660	-1,47863	-4,05474	8,77427	-0,98973	-2,26103	5,75480
-2,06902	-5,18060	12,14550	-0,97938	-1,57750	5,51022	-1,57746	-4,27071	9,34624	-0,98825	-2,15969	5,71971
-2,16675	-5,32540	12,69166	-0,97731	-1,44801	5,46164	-1,67612	-4,47601	9,91447	-0,98667	-2,05294	5,68232
-2,26427	-5,45689	13,23275	-0,97514	-1,31491	5,41088	-1,77462	-4,67011	10,47874	-0,98500	-1,94106	5,64267
-2,36155	-5,57474	13,76854	-0,97288	-1,17851	5,35795	-1,87295	-4,85255	11,03882	-0,98322	-1,82434	5,60075
-2,45861	-5,67866	14,29883	-0,97052	-1,03917	5,30288	-1,97108	-5,02285	11,59448	-0,98135	-1,70305	5,55660
-2,55541	-5,76838	14,82340	-0,96806	-0,89724	5,24568	-2,06902	-5,18060	12,14550	-0,97938	-1,57750	5,51022

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-2,65196	-5,84369	15,34204	-0,96550	-0,75306	5,18639	-2,16675	-5,32540	12,69166	-0,97731	-1,44801	5,46164
-2,74825	-5,90439	15,85454	-0,96285	-0,60699	5,12503	-2,26427	-5,45689	13,23275	-0,97514	-1,31491	5,41088
-2,84426	-5,95033	16,36070	-0,96010	-0,45942	5,06161	-2,36155	-5,57474	13,76854	-0,97288	-1,17851	5,35795
-2,93998	-5,98140	16,86032	-0,95726	-0,31069	4,99617	-2,45861	-5,67866	14,29883	-0,97052	-1,03917	5,30288
-3,03542	-5,99752	17,35319	-0,95432	-0,16118	4,92873	-2,55541	-5,76838	14,82340	-0,96806	-0,89724	5,24568
-3,13054	-5,99865	17,83912	-0,95128	-0,01128	4,85932	-2,65196	-5,84369	15,34204	-0,96550	-0,75306	5,18639
-3,22536	-5,98478	18,31792	-0,94815	0,13866	4,78796	-2,74825	-5,90439	15,85454	-0,96285	-0,60699	5,12503
-3,31985	-5,95596	18,78939	-0,94493	0,28825	4,71470	-2,84426	-5,95033	16,36070	-0,96010	-0,45942	5,06161
-3,41401	-5,91224	19,25334	-0,94161	0,43711	4,63954	-2,93998	-5,98140	16,86032	-0,95726	-0,31069	4,99617
-3,50783	-5,85376	19,70960	-0,93819	0,58489	4,56253	-3,03542	-5,99752	17,35319	-0,95432	-0,16118	4,92873
-3,60130	-5,78064	20,15797	-0,93469	0,73120	4,48369	-3,13054	-5,99865	17,83912	-0,95128	-0,01128	4,85932
-3,69441	-5,69307	20,59827	-0,93109	0,87569	4,40306	-3,22536	-5,98478	18,31792	-0,94815	0,13866	4,78796
-3,78715	-5,59127	21,03034	-0,92739	1,01799	4,32067	-3,31985	-5,95596	18,78939	-0,94493	0,28825	4,71470
-3,87951	-5,47549	21,45400	-0,92360	1,15774	4,23656	-3,41401	-5,91224	19,25334	-0,94161	0,43711	4,63954
-3,97148	-5,34604	21,86907	-0,91972	1,29460	4,15074	-3,50783	-5,85376	19,70960	-0,93819	0,58489	4,56253
-4,06306	-5,20321	22,27540	-0,91575	1,42822	4,06327	-3,60130	-5,78064	20,15797	-0,93469	0,73120	4,48369
-4,15423	-5,04739	22,67282	-0,91169	1,55827	3,97417	-3,69441	-5,69307	20,59827	-0,93109	0,87569	4,40306
-4,24498	-4,87894	23,06116	-0,90754	1,68443	3,88348	-3,78715	-5,59127	21,03034	-0,92739	1,01799	4,32067
-4,33531	-4,69830	23,44029	-0,90329	1,80638	3,79124	-3,87951	-5,47549	21,45400	-0,92360	1,15774	4,23656
-4,42520	-4,50592	23,81004	-0,89896	1,92381	3,69748	-3,97148	-5,34604	21,86907	-0,91972	1,29460	4,15074
-4,51466	-4,30228	24,17026	-0,89453	2,03644	3,60225	-4,06306	-5,20321	22,27540	-0,91575	1,42822	4,06327
-4,60366	-4,08788	24,52082	-0,89002	2,14397	3,50557	-4,15423	-5,04739	22,67282	-0,91169	1,55827	3,97417
-4,69220	-3,86327	24,86157	-0,88541	2,24615	3,40749	-4,24498	-4,87894	23,06116	-0,90754	1,68443	3,88348
-4,78027	-3,62900	25,19237	-0,88072	2,34271	3,30805	-4,33531	-4,69830	23,44029	-0,90329	1,80638	3,79124
-4,86787	-3,38566	25,51310	-0,87594	2,43342	3,20728	-4,42520	-4,50592	23,81004	-0,89896	1,92381	3,69748
-4,95497	-3,13385	25,82362	-0,87107	2,51804	3,10523	-4,51466	-4,30228	24,17026	-0,89453	2,03644	3,60225
-5,04159	-2,87421	26,12382	-0,86612	2,59637	3,00194	-4,60366	-4,08788	24,52082	-0,89002	2,14397	3,50557
-5,12769	-2,60739	26,41356	-0,86108	2,66821	2,89745	-4,69220	-3,86327	24,86157	-0,88541	2,24615	3,40749
-5,21329	-2,33406	26,69274	-0,85595	2,73338	2,79180	-4,78027	-3,62900	25,19237	-0,88072	2,34271	3,30805
-5,29836	-2,05488	26,96124	-0,85074	2,79172	2,68503	-4,86787	-3,38566	25,51310	-0,87594	2,43342	3,20728
-5,38291	-1,77058	27,21896	-0,84544	2,84308	2,57719	-4,95497	-3,13385	25,82362	-0,87107	2,51804	3,10523
-5,46691	-1,48184	27,46579	-0,84005	2,88734	2,46832	-5,04159	-2,87421	26,12382	-0,86612	2,59637	3,00194
-5,55037	-1,18940	27,70164	-0,83459	2,92437	2,35846	-5,12769	-2,60739	26,41356	-0,86108	2,66821	2,89745
-5,63327	-0,89399	27,92640	-0,82904	2,95410	2,24765	-5,21329	-2,33406	26,69274	-0,85595	2,73338	2,79180
-5,71561	-0,59635	28,14000	-0,82340	2,97645	2,13595	-5,29836	-2,05488	26,96124	-0,85074	2,79172	2,68503
-5,79738	-0,29721	28,34234	-0,81769	2,99135	2,02340	-5,38291	-1,77058	27,21896	-0,84544	2,84308	2,57719
-5,87857	0,00266	28,53334	-0,81189	2,99878	1,91003	-5,46691	-1,48184	27,46579	-0,84005	2,88734	2,46832
-5,95917	0,30254	28,71293	-0,80601	2,99872	1,79590	-5,55037	-1,18940	27,70164	-0,83459	2,92437	2,35846
-6,03918	0,60165	28,88104	-0,80005	2,99115	1,68105	-5,63327	-0,89399	27,92640	-0,82904	2,95410	2,24765
-6,11858	0,89926	29,03759	-0,79401	2,97612	1,56553	-5,71561	-0,59635	28,14000	-0,82340	2,97645	2,13595
-6,19737	1,19463	29,18253	-0,78790	2,95364	1,44939	-5,79738	-0,29721	28,34234	-0,81769	2,99135	2,02340
-6,27554	1,48701	29,31579	-0,78170	2,92378	1,33266	-5,87857	0,00266	28,53334	-0,81189	2,99878	1,91003
-6,35308	1,77567	29,43733	-0,77542	2,88661	1,21540	-5,95917	0,30254	28,71293	-0,80601	2,99872	1,79590
-6,42999	2,05989	29,54710	-0,76907	2,84223	1,09765	-6,03918	0,60165	28,88104	-0,80005	2,99115	1,68105

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-6,50625	2,33896	29,64505	-0,76264	2,79074	0,97947	-6,11858	0,89926	29,03759	-0,79401	2,97612	1,56553
-6,58186	2,61219	29,73114	-0,75613	2,73228	0,86089	-6,19737	1,19463	29,18253	-0,78790	2,95364	1,44939
-6,65682	2,87889	29,80533	-0,74955	2,66699	0,74197	-6,27554	1,48701	29,31579	-0,78170	2,92378	1,33266
-6,73111	3,13839	29,86761	-0,74289	2,59503	0,62276	-6,35308	1,77567	29,43733	-0,77542	2,88661	1,21540
-6,80473	3,39005	29,91794	-0,73616	2,51659	0,50329	-6,42999	2,05989	29,54710	-0,76907	2,84223	1,09765
-6,87766	3,63324	29,95630	-0,72936	2,43186	0,38362	-6,50625	2,33896	29,64505	-0,76264	2,79074	0,97947
-6,94991	3,86734	29,98268	-0,72248	2,34104	0,26380	-6,58186	2,61219	29,73114	-0,75613	2,73228	0,86089
-7,02146	4,09178	29,99707	-0,71553	2,24438	0,14387	-6,65682	2,87889	29,80533	-0,74955	2,66699	0,74197
-7,09231	4,30599	29,99946	-0,70851	2,14211	0,02389	-6,73111	3,13839	29,86761	-0,74289	2,59503	0,62276
-7,16246	4,50944	29,98985	-0,70142	2,03448	-0,09610	-6,80473	3,39005	29,91794	-0,73616	2,51659	0,50329
-7,23188	4,70162	29,96824	-0,69426	1,92177	-0,21606	-6,87766	3,63324	29,95630	-0,72936	2,43186	0,38362
-7,30058	4,88204	29,93465	-0,68702	1,80425	-0,33593	-6,94991	3,86734	29,98268	-0,72248	2,34104	0,26380
-7,36856	5,05027	29,88908	-0,67972	1,68223	-0,45566	-7,02146	4,09178	29,99707	-0,71553	2,24438	0,14387
-7,43579	5,20586	29,83156	-0,67235	1,55600	-0,57522	-7,09231	4,30599	29,99946	-0,70851	2,14211	0,02389
-7,50228	5,34845	29,76211	-0,66492	1,42588	-0,69454	-7,16246	4,50944	29,98985	-0,70142	2,03448	-0,09610
-7,56802	5,47767	29,68075	-0,65742	1,29219	-0,81358	-7,23188	4,70162	29,96824	-0,69426	1,92177	-0,21606
-7,63301	5,59320	29,58752	-0,64985	1,15528	-0,93230	-7,30058	4,88204	29,93465	-0,68702	1,80425	-0,33593
-7,69723	5,69475	29,48245	-0,64222	1,01548	-1,05065	-7,36856	5,05027	29,88908	-0,67972	1,68223	-0,45566
-7,76068	5,78206	29,36560	-0,63452	0,87314	-1,16857	-7,43579	5,20586	29,83156	-0,67235	1,55600	-0,57522
-7,82336	5,85492	29,23699	-0,62676	0,72862	-1,28603	-7,50228	5,34845	29,76211	-0,66492	1,42588	-0,69454
-7,88525	5,91315	29,09669	-0,61893	0,58228	-1,40298	-7,56802	5,47767	29,68075	-0,65742	1,29219	-0,81358
-7,94636	5,95660	28,94476	-0,61105	0,43448	-1,51936	-7,63301	5,59320	29,58752	-0,64985	1,15528	-0,93230
-8,00667	5,98516	28,78125	-0,60310	0,28559	-1,63513	-7,69723	5,69475	29,48245	-0,64222	1,01548	-1,05065
-8,06618	5,99876	28,60622	-0,59510	0,13600	-1,75026	-7,76068	5,78206	29,36560	-0,63452	0,87314	-1,16857
-8,12488	5,99736	28,41975	-0,58703	-0,01394	-1,86468	-7,82336	5,85492	29,23699	-0,62676	0,72862	-1,28603
-8,18277	5,98098	28,22192	-0,57891	-0,16384	-1,97835	-7,88525	5,91315	29,09669	-0,61893	0,58228	-1,40298
-8,23984	5,94964	28,01279	-0,57072	-0,31334	-2,09124	-7,94636	5,95660	28,94476	-0,61105	0,43448	-1,51936
-8,29609	5,90344	27,79246	-0,56248	-0,46205	-2,20328	-8,00667	5,98516	28,78125	-0,60310	0,28559	-1,63513
-8,35151	5,84248	27,56102	-0,55419	-0,60960	-2,31445	-8,06618	5,99876	28,60622	-0,59510	0,13600	-1,75026
-8,40609	5,76692	27,31855	-0,54584	-0,75563	-2,42469	-8,12488	5,99736	28,41975	-0,58703	-0,01394	-1,86468
-8,45984	5,67694	27,06516	-0,53743	-0,89978	-2,53396	-8,18277	5,98098	28,22192	-0,57891	-0,16384	-1,97835
-8,51273	5,57277	26,80093	-0,52897	-1,04167	-2,64222	-8,23984	5,94964	28,01279	-0,57072	-0,31334	-2,09124
-8,56478	5,45468	26,52599	-0,52046	-1,18096	-2,74942	-8,29609	5,90344	27,79246	-0,56248	-0,46205	-2,20328
-8,61597	5,32295	26,24044	-0,51189	-1,31730	-2,85552	-8,35151	5,84248	27,56102	-0,55419	-0,60960	-2,31445
-8,66630	5,17791	25,94439	-0,50328	-1,45035	-2,96048	-8,40609	5,76692	27,31855	-0,54584	-0,75563	-2,42469
-8,71576	5,01993	25,63797	-0,49461	-1,57977	-3,06425	-8,45984	5,67694	27,06516	-0,53743	-0,89978	-2,53396
-8,76435	4,84941	25,32129	-0,48589	-1,70524	-3,16680	-8,51273	5,57277	26,80093	-0,52897	-1,04167	-2,64222
-8,81206	4,66676	24,99448	-0,47713	-1,82645	-3,26808	-8,56478	5,45468	26,52599	-0,52046	-1,18096	-2,74942
-8,85889	4,47246	24,65767	-0,46832	-1,94309	-3,36805	-8,61597	5,32295	26,24044	-0,51189	-1,31730	-2,85552
-8,90484	4,26697	24,31101	-0,45946	-2,05488	-3,46668	-8,66630	5,17791	25,94439	-0,50328	-1,45035	-2,96048
-8,94989	4,05081	23,95461	-0,45055	-2,16153	-3,56392	-8,71576	5,01993	25,63797	-0,49461	-1,57977	-3,06425
-8,99405	3,82454	23,58864	-0,44161	-2,26278	-3,65974	-8,76435	4,84941	25,32129	-0,48589	-1,70524	-3,16680
-9,03732	3,58870	23,21323	-0,43261	-2,35838	-3,75409	-8,81206	4,66676	24,99448	-0,47713	-1,82645	-3,26808
-9,07967	3,34389	22,82854	-0,42357	-2,44808	-3,84694	-8,85889	4,47246	24,65767	-0,46832	-1,94309	-3,36805

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-9,12112	3,09072	22,43471	-0,41449	-2,53166	-3,93825	-8,90484	4,26697	24,31101	-0,45946	-2,05488	-3,46668
-9,16166	2,82983	22,03191	-0,40537	-2,60891	-4,02799	-8,94989	4,05081	23,95461	-0,45055	-2,16153	-3,56392
-9,20128	2,56187	21,62030	-0,39621	-2,67964	-4,11611	-8,99405	3,82454	23,58864	-0,44161	-2,26278	-3,65974
-9,23998	2,28750	21,20004	-0,38701	-2,74367	-4,20259	-9,03732	3,58870	23,21323	-0,43261	-2,35838	-3,75409
-9,27776	2,00742	20,77130	-0,37777	-2,80085	-4,28739	-9,07967	3,34389	22,82854	-0,42357	-2,44808	-3,84694
-9,31461	1,72232	20,33426	-0,36849	-2,85102	-4,37047	-9,12112	3,09072	22,43471	-0,41449	-2,53166	-3,93825
-9,35053	1,43291	19,88908	-0,35918	-2,89407	-4,45180	-9,16166	2,82983	22,03191	-0,40537	-2,60891	-4,02799
-9,38551	1,13992	19,43594	-0,34983	-2,92989	-4,53136	-9,20128	2,56187	21,62030	-0,39621	-2,67964	-4,11611
-9,41955	0,84408	18,97503	-0,34044	-2,95838	-4,60910	-9,23998	2,28750	21,20004	-0,38701	-2,74367	-4,20259
-9,45266	0,54613	18,50653	-0,33102	-2,97948	-4,68500	-9,27776	2,00742	20,77130	-0,37777	-2,80085	-4,28739
-9,48481	0,24682	18,03063	-0,32157	-2,99313	-4,75902	-9,31461	1,72232	20,33426	-0,36849	-2,85102	-4,37047
-9,51602	-0,05311	17,54752	-0,31209	-2,99930	-4,83114	-9,35053	1,43291	19,88908	-0,35918	-2,89407	-4,45180
-9,54628	-0,35290	17,05738	-0,30257	-2,99797	-4,90133	-9,38551	1,13992	19,43594	-0,34983	-2,92989	-4,53136
-9,57558	-0,65182	16,56043	-0,29302	-2,98915	-4,96955	-9,41955	0,84408	18,97503	-0,34044	-2,95838	-4,60910
-9,60392	-0,94911	16,05685	-0,28345	-2,97286	-5,03579	-9,45266	0,54613	18,50653	-0,33102	-2,97948	-4,68500
-9,63131	-1,24402	15,54685	-0,27384	-2,94913	-5,10002	-9,48481	0,24682	18,03063	-0,32157	-2,99313	-4,75902
-9,65773	-1,53582	15,03063	-0,26421	-2,91804	-5,16220	-9,51602	-0,05311	17,54752	-0,31209	-2,99930	-4,83114
-9,68319	-1,82379	14,50839	-0,25456	-2,87965	-5,22233	-9,54628	-0,35290	17,05738	-0,30257	-2,99797	-4,90133
-9,70767	-2,10719	13,98036	-0,24487	-2,83407	-5,28036	-9,57558	-0,65182	16,56043	-0,29302	-2,98915	-4,96955
-9,73119	-2,38533	13,44673	-0,23516	-2,78140	-5,33628	-9,60392	-0,94911	16,05685	-0,28345	-2,97286	-5,03579
-9,75373	-2,65751	12,90772	-0,22543	-2,72178	-5,39006	-9,63131	-1,24402	15,54685	-0,27384	-2,94913	-5,10002
-9,77530	-2,92305	12,36355	-0,21568	-2,65535	-5,44169	-9,65773	-1,53582	15,03063	-0,26421	-2,91804	-5,16220
-9,79589	-3,18128	11,81444	-0,20590	-2,58229	-5,49114	-9,68319	-1,82379	14,50839	-0,25456	-2,87965	-5,22233
-9,81550	-3,43155	11,26060	-0,19611	-2,50278	-5,53840	-9,70767	-2,10719	13,98036	-0,24487	-2,83407	-5,28036
-9,83413	-3,67325	10,70226	-0,18629	-2,41701	-5,58344	-9,73119	-2,38533	13,44673	-0,23516	-2,78140	-5,33628
-9,85178	-3,90577	10,13963	-0,17646	-2,32519	-5,62625	-9,75373	-2,65751	12,90772	-0,22543	-2,72178	-5,39006
-9,86844	-4,12853	9,57295	-0,16661	-2,22757	-5,66681	-9,77530	-2,92305	12,36355	-0,21568	-2,65535	-5,44169
-9,88411	-4,34097	9,00244	-0,15674	-2,12438	-5,70510	-9,79589	-3,18128	11,81444	-0,20590	-2,58229	-5,49114
-9,89880	-4,54256	8,42833	-0,14686	-2,01588	-5,74110	-9,81550	-3,43155	11,26060	-0,19611	-2,50278	-5,53840
-9,91249	-4,73279	7,85085	-0,13696	-1,90234	-5,77482	-9,83413	-3,67325	10,70226	-0,18629	-2,41701	-5,58344
-9,92520	-4,91119	7,27023	-0,12704	-1,78404	-5,80622	-9,85178	-3,90577	10,13963	-0,17646	-2,32519	-5,62625
-9,93691	-5,07732	6,68670	-0,11712	-1,66129	-5,83530	-9,86844	-4,12853	9,57295	-0,16661	-2,22757	-5,66681
-9,94763	-5,23076	6,10049	-0,10718	-1,53438	-5,86204	-9,88411	-4,34097	9,00244	-0,15674	-2,12438	-5,70510
-9,95735	-5,37112	5,51185	-0,09723	-1,40364	-5,88645	-9,89880	-4,54256	8,42833	-0,14686	-2,01588	-5,74110
-9,96608	-5,49806	4,92100	-0,08728	-1,26939	-5,90849	-9,91249	-4,73279	7,85085	-0,13696	-1,90234	-5,77482
-9,97381	-5,61126	4,32818	-0,07731	-1,13196	-5,92818	-9,92520	-4,91119	7,27023	-0,12704	-1,78404	-5,80622
-9,98054	-5,71043	3,73363	-0,06734	-0,99171	-5,94549	-9,93691	-5,07732	6,68670	-0,11712	-1,66129	-5,83530
-9,98628	-5,79533	3,13759	-0,05736	-0,84898	-5,96042	-9,94763	-5,23076	6,10049	-0,10718	-1,53438	-5,86204
-9,99102	-5,86574	2,54029	-0,04737	-0,70413	-5,97297	-9,95735	-5,37112	5,51185	-0,09723	-1,40364	-5,88645
-9,99476	-5,92149	1,94198	-0,03738	-0,55752	-5,98313	-9,96608	-5,49806	4,92100	-0,08728	-1,26939	-5,90849
-9,99749	-5,96244	1,34289	-0,02739	-0,40951	-5,99090	-9,97381	-5,61126	4,32818	-0,07731	-1,13196	-5,92818
-9,99923	-5,98849	0,74326	-0,01739	-0,26048	-5,99627	-9,98054	-5,71043	3,73363	-0,06734	-0,99171	-5,94549
-9,99997	-5,99957	0,14334	-0,00739	-0,11080	-5,99924	-9,98628	-5,79533	3,13759	-0,05736	-0,84898	-5,96042
-9,99971	-5,99566	-0,45664	0,00261	0,03916	-5,99982	-9,99102	-5,86574	2,54029	-0,04737	-0,70413	-5,97297

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-9,99845	-5,97675	-1,05644	0,01261	0,18902	-5,99799	-9,99476	-5,92149	1,94198	-0,03738	-0,55752	-5,98313
-9,99619	-5,94291	-1,65582	0,02261	0,33841	-5,99377	-9,99749	-5,96244	1,34289	-0,02739	-0,40951	-5,99090
-9,99293	-5,89422	-2,25453	0,03261	0,48695	-5,98714	-9,99923	-5,98849	0,74326	-0,01739	-0,26048	-5,99627
-9,98867	-5,83079	-2,85235	0,04260	0,63427	-5,97813	-9,99997	-5,99957	0,14334	-0,00739	-0,11080	-5,99924
-9,98341	-5,75279	-3,44902	0,05259	0,78001	-5,96672	-9,99971	-5,99566	-0,45664	0,00261	0,03916	-5,99982
-9,97715	-5,66041	-4,04431	0,06257	0,92380	-5,95292	-9,99845	-5,97675	-1,05644	0,01261	0,18902	-5,99799
-9,96990	-5,55388	-4,63798	0,07255	1,06528	-5,93674	-9,99619	-5,94291	-1,65582	0,02261	0,33841	-5,99377
-9,96165	-5,43347	-5,22980	0,08252	1,20410	-5,91819	-9,99293	-5,89422	-2,25453	0,03261	0,48695	-5,98714
-9,95240	-5,29948	-5,81953	0,09248	1,33991	-5,89727	-9,98867	-5,83079	-2,85235	0,04260	0,63427	-5,97813
-9,94216	-5,15224	-6,40693	0,10243	1,47237	-5,87400	-9,98341	-5,75279	-3,44902	0,05259	0,78001	-5,96672
-9,93092	-4,99213	-6,99177	0,11237	1,60115	-5,84837	-9,97715	-5,66041	-4,04431	0,06257	0,92380	-5,95292
-9,91869	-4,81953	-7,57381	0,12230	1,72593	-5,82040	-9,96990	-5,55388	-4,63798	0,07255	1,06528	-5,93674
-9,90547	-4,63490	-8,15282	0,13222	1,84639	-5,79011	-9,96165	-5,43347	-5,22980	0,08252	1,20410	-5,91819
-9,89125	-4,43867	-8,72857	0,14213	1,96224	-5,75750	-9,95240	-5,29948	-5,81953	0,09248	1,33991	-5,89727
-9,87605	-4,23135	-9,30083	0,15202	2,07318	-5,72259	-9,94216	-5,15224	-6,40693	0,10243	1,47237	-5,87400
-9,85986	-4,01346	-9,86937	0,16189	2,17894	-5,68538	-9,93092	-4,99213	-6,99177	0,11237	1,60115	-5,84837
-9,84269	-3,78553	-10,43396	0,17175	2,27926	-5,64591	-9,91869	-4,81953	-7,57381	0,12230	1,72593	-5,82040
-9,82453	-3,54815	-10,99437	0,18160	2,37388	-5,60417	-9,90547	-4,63490	-8,15282	0,13222	1,84639	-5,79011
-9,80538	-3,30189	-11,55039	0,19142	2,46256	-5,56020	-9,89125	-4,43867	-8,72857	0,14213	1,96224	-5,75750
-9,78526	-3,04738	-12,10179	0,20123	2,54509	-5,51400	-9,87605	-4,23135	-9,30083	0,15202	2,07318	-5,72259
-9,76416	-2,78525	-12,64835	0,21101	2,62126	-5,46559	-9,85986	-4,01346	-9,86937	0,16189	2,17894	-5,68538
-9,74208	-2,51617	-13,18985	0,22078	2,69088	-5,41500	-9,84269	-3,78553	-10,43396	0,17175	2,27926	-5,64591
-9,71903	-2,24079	-13,72608	0,23052	2,75377	-5,36224	-9,82453	-3,54815	-10,99437	0,18160	2,37388	-5,60417
-9,69501	-1,95981	-14,25681	0,24024	2,80978	-5,30734	-9,80538	-3,30189	-11,55039	0,19142	2,46256	-5,56020
-9,67001	-1,67393	-14,78184	0,24993	2,85876	-5,25031	-9,78526	-3,04738	-12,10179	0,20123	2,54509	-5,51400
-9,64405	-1,38387	-15,30096	0,25960	2,90060	-5,19119	-9,76416	-2,78525	-12,64835	0,21101	2,62126	-5,46559
-9,61713	-1,09036	-15,81396	0,26925	2,93519	-5,12999	-9,74208	-2,51617	-13,18985	0,22078	2,69088	-5,41500
-9,58924	-0,79411	-16,32063	0,27886	2,96245	-5,06673	-9,71903	-2,24079	-13,72608	0,23052	2,75377	-5,36224
-9,56040	-0,49588	-16,82078	0,28845	2,98229	-5,00145	-9,69501	-1,95981	-14,25681	0,24024	2,80978	-5,30734
-9,53060	-0,19641	-17,31420	0,29801	2,99469	-4,93417	-9,67001	-1,67393	-14,78184	0,24993	2,85876	-5,25031
-9,49984	0,10355	-17,80069	0,30754	2,99960	-4,86492	-9,64405	-1,38387	-15,30096	0,25960	2,90060	-5,19119
-9,46814	0,40325	-18,28006	0,31704	2,99701	-4,79372	-9,61713	-1,09036	-15,81396	0,26925	2,93519	-5,12999
-9,43549	0,70194	-18,75212	0,32651	2,98693	-4,72060	-9,58924	-0,79411	-16,32063	0,27886	2,96245	-5,06673
-9,40189	0,99888	-19,21668	0,33595	2,96939	-4,64559	-9,56040	-0,49588	-16,82078	0,28845	2,98229	-5,00145
-9,36736	1,29332	-19,67355	0,34535	2,94442	-4,56873	-9,53060	-0,19641	-17,31420	0,29801	2,99469	-4,93417
-9,33189	1,58453	-20,12256	0,35472	2,91209	-4,49004	-9,49984	0,10355	-17,80069	0,30754	2,99960	-4,86492
-9,29548	1,87178	-20,56351	0,36405	2,87249	-4,40955	-9,46814	0,40325	-18,28006	0,31704	2,99701	-4,79372
-9,25815	2,15435	-20,99624	0,37334	2,82570	-4,32730	-9,43549	0,70194	-18,75212	0,32651	2,98693	-4,72060
-9,21989	2,43154	-21,42057	0,38260	2,77186	-4,24332	-9,40189	0,99888	-19,21668	0,33595	2,96939	-4,64559
-9,18070	2,70264	-21,83634	0,39182	2,71108	-4,15764	-9,36736	1,29332	-19,67355	0,34535	2,94442	-4,56873
-9,14060	2,96700	-22,24337	0,40100	2,64353	-4,07030	-9,33189	1,58453	-20,12256	0,35472	2,91209	-4,49004
-9,09959	3,22393	-22,64150	0,41014	2,56937	-3,98132	-9,29548	1,87178	-20,56351	0,36405	2,87249	-4,40955
-9,05767	3,47281	-23,03057	0,41924	2,48879	-3,89076	-9,25815	2,15435	-20,99624	0,37334	2,82570	-4,32730
-9,01484	3,71301	-23,41044	0,42830	2,40198	-3,79864	-9,21989	2,43154	-21,42057	0,38260	2,77186	-4,24332

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-8,97111	3,94393	-23,78094	0,43731	2,30918	-3,70500	-9,18070	2,70264	-21,83634	0,39182	2,71108	-4,15764
-8,92648	4,16499	-24,14193	0,44628	2,21060	-3,60988	-9,14060	2,96700	-22,24337	0,40100	2,64353	-4,07030
-8,88096	4,37564	-24,49326	0,45521	2,10650	-3,51332	-9,09959	3,22393	-22,64150	0,41014	2,56937	-3,98132
-8,83455	4,57535	-24,83479	0,46409	1,99713	-3,41535	-9,05767	3,47281	-23,03057	0,41924	2,48879	-3,89076
-8,78725	4,76363	-25,16640	0,47293	1,88277	-3,31601	-9,01484	3,71301	-23,41044	0,42830	2,40198	-3,79864
-8,73908	4,94000	-25,48793	0,48171	1,76370	-3,21535	-8,97111	3,94393	-23,78094	0,43731	2,30918	-3,70500
-8,69004	5,10402	-25,79927	0,49045	1,64023	-3,11340	-8,92648	4,16499	-24,14193	0,44628	2,21060	-3,60988
-8,64012	5,25529	-26,10029	0,49914	1,51266	-3,01021	-8,88096	4,37564	-24,49326	0,45521	2,10650	-3,51332
-8,58934	5,39342	-26,39087	0,50778	1,38130	-2,90581	-8,83455	4,57535	-24,83479	0,46409	1,99713	-3,41535
-8,53771	5,51807	-26,67090	0,51637	1,24649	-2,80025	-8,78725	4,76363	-25,16640	0,47293	1,88277	-3,31601
-8,48522	5,62892	-26,94026	0,52491	1,10857	-2,69357	-8,73908	4,94000	-25,48793	0,48171	1,76370	-3,21535
-8,43188	5,72571	-27,19884	0,53339	0,96788	-2,58581	-8,69004	5,10402	-25,79927	0,49045	1,64023	-3,11340
-8,37769	5,80819	-27,44654	0,54183	0,82476	-2,47702	-8,64012	5,25529	-26,10029	0,49914	1,51266	-3,01021
-8,32267	5,87615	-27,68326	0,55020	0,67959	-2,36724	-8,58934	5,39342	-26,39087	0,50778	1,38130	-2,90581
-8,26682	5,92942	-27,90891	0,55853	0,53272	-2,25651	-8,53771	5,51807	-26,67090	0,51637	1,24649	-2,80025
-8,21014	5,96787	-28,12340	0,56679	0,38451	-2,14488	-8,48522	5,62892	-26,94026	0,52491	1,10857	-2,69357
-8,15264	5,99140	-28,32664	0,57500	0,23535	-2,03239	-8,43188	5,72571	-27,19884	0,53339	0,96788	-2,58581
-8,09433	5,99996	-28,51855	0,58316	0,08559	-1,91909	-8,37769	5,80819	-27,44654	0,54183	0,82476	-2,47702
-8,03520	5,99352	-28,69905	0,59125	-0,06438	-1,80502	-8,32267	5,87615	-27,68326	0,55020	0,67959	-2,36724
-7,97527	5,97211	-28,86807	0,59929	-0,21418	-1,69022	-8,26682	5,92942	-27,90891	0,55853	0,53272	-2,25651
-7,91455	5,93576	-29,02555	0,60726	-0,36345	-1,57475	-8,21014	5,96787	-28,12340	0,56679	0,38451	-2,14488
-7,85303	5,88458	-29,17141	0,61517	-0,51182	-1,45866	-8,15264	5,99140	-28,32664	0,57500	0,23535	-2,03239
-7,79073	5,81869	-29,30561	0,62303	-0,65890	-1,34197	-8,09433	5,99996	-28,51855	0,58316	0,08559	-1,91909
-7,72764	5,73826	-29,42809	0,63082	-0,80434	-1,22476	-8,03520	5,99352	-28,69905	0,59125	-0,06438	-1,80502
-7,66379	5,64348	-29,53879	0,63855	-0,94776	-1,10705	-7,97527	5,97211	-28,86807	0,59929	-0,21418	-1,69022
-7,59917	5,53460	-29,63768	0,64621	-1,08882	-0,98890	-7,91455	5,93576	-29,02555	0,60726	-0,36345	-1,57475
-7,53379	5,41188	-29,72472	0,65381	-1,22716	-0,87035	-7,85303	5,88458	-29,17141	0,61517	-0,51182	-1,45866
-7,46765	5,27564	-29,79986	0,66134	-1,36243	-0,75145	-7,79073	5,81869	-29,30561	0,62303	-0,65890	-1,34197
-7,40077	5,12621	-29,86309	0,66881	-1,49429	-0,63226	-7,72764	5,73826	-29,42809	0,63082	-0,80434	-1,22476
-7,33315	4,96397	-29,91437	0,67621	-1,62242	-0,51281	-7,66379	5,64348	-29,53879	0,63855	-0,94776	-1,10705
-7,26480	4,78932	-29,95368	0,68354	-1,74649	-0,39316	-7,59917	5,53460	-29,63768	0,64621	-1,08882	-0,98890
-7,19572	4,60270	-29,98102	0,69081	-1,86620	-0,27335	-7,53379	5,41188	-29,72472	0,65381	-1,22716	-0,87035
-7,12592	4,40457	-29,99636	0,69800	-1,98124	-0,15343	-7,46765	5,27564	-29,79986	0,66134	-1,36243	-0,75145
-7,05540	4,19544	-29,99971	0,70513	-2,09134	-0,03344	-7,40077	5,12621	-29,86309	0,66881	-1,49429	-0,63226
-6,98418	3,97582	-29,99105	0,71219	-2,19620	0,08655	-7,33315	4,96397	-29,91437	0,67621	-1,62242	-0,51281
-6,91227	3,74626	-29,97040	0,71917	-2,29557	0,20651	-7,26480	4,78932	-29,95368	0,68354	-1,74649	-0,39316
-6,83966	3,50734	-29,93776	0,72608	-2,38921	0,32639	-7,19572	4,60270	-29,98102	0,69081	-1,86620	-0,27335
-6,76637	3,25965	-29,89315	0,73292	-2,47688	0,44613	-7,12592	4,40457	-29,99636	0,69800	-1,98124	-0,15343
-6,69240	3,00382	-29,83658	0,73969	-2,55835	0,56570	-7,05540	4,19544	-29,99971	0,70513	-2,09134	-0,03344
-6,61776	2,74048	-29,76807	0,74638	-2,63343	0,68505	-6,98418	3,97582	-29,99105	0,71219	-2,19620	0,08655
-6,54246	2,47028	-29,68766	0,75300	-2,70193	0,80411	-6,91227	3,74626	-29,97040	0,71917	-2,29557	0,20651
-6,46651	2,19392	-29,59538	0,75954	-2,76367	0,92286	-6,83966	3,50734	-29,93776	0,72608	-2,38921	0,32639
-6,38991	1,91206	-29,49125	0,76601	-2,81851	1,04124	-6,76637	3,25965	-29,89315	0,73292	-2,47688	0,44613
-6,31267	1,62543	-29,37533	0,77240	-2,86630	1,15920	-6,69240	3,00382	-29,83658	0,73969	-2,55835	0,56570

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-6,23480	1,33474	-29,24766	0,77871	-2,90693	1,27670	-6,61776	2,74048	-29,76807	0,74638	-2,63343	0,68505
-6,15630	1,04071	-29,10829	0,78494	-2,94029	1,39368	-6,54246	2,47028	-29,68766	0,75300	-2,70193	0,80411
-6,07719	0,74408	-28,95728	0,79110	-2,96630	1,51011	-6,46651	2,19392	-29,59538	0,75954	-2,76367	0,92286
-5,99747	0,44559	-28,79469	0,79718	-2,98490	1,62594	-6,38991	1,91206	-29,49125	0,76601	-2,81851	1,04124
-5,91716	0,14599	-28,62058	0,80317	-2,99604	1,74111	-6,31267	1,62543	-29,37533	0,77240	-2,86630	1,15920
-5,83625	-0,15398	-28,43502	0,80909	-2,99969	1,85559	-6,23480	1,33474	-29,24766	0,77871	-2,90693	1,27670
-5,75475	-0,45356	-28,23809	0,81493	-2,99584	1,96933	-6,15630	1,04071	-29,10829	0,78494	-2,94029	1,39368
-5,67269	-0,75201	-28,02986	0,82068	-2,98450	2,08228	-6,07719	0,74408	-28,95728	0,79110	-2,96630	1,51011
-5,59005	-1,04858	-27,81042	0,82636	-2,96570	2,19439	-5,99747	0,44559	-28,79469	0,79718	-2,98490	1,62594
-5,50686	-1,34253	-27,57986	0,83195	-2,93950	2,30563	-5,91716	0,14599	-28,62058	0,80317	-2,99604	1,74111
-5,42311	-1,63313	-27,33826	0,83745	-2,90594	2,41595	-5,83625	-0,15398	-28,43502	0,80909	-2,99969	1,85559
-5,33882	-1,91964	-27,08573	0,84288	-2,86512	2,52530	-5,75475	-0,45356	-28,23809	0,81493	-2,99584	1,96933
-5,25400	-2,20135	-26,82237	0,84821	-2,81714	2,63363	-5,67269	-0,75201	-28,02986	0,82068	-2,98450	2,08228
-5,16865	-2,47757	-26,54828	0,85347	-2,76212	2,74092	-5,59005	-1,04858	-27,81042	0,82636	-2,96570	2,19439
-5,08279	-2,74758	-26,26357	0,85864	-2,70019	2,84711	-5,50686	-1,34253	-27,57986	0,83195	-2,93950	2,30563
-4,99642	-3,01074	-25,96835	0,86372	-2,63151	2,95216	-5,42311	-1,63313	-27,33826	0,83745	-2,90594	2,41595
-4,90955	-3,26636	-25,66275	0,86872	-2,55626	3,05603	-5,33882	-1,91964	-27,08573	0,84288	-2,86512	2,52530
-4,82218	-3,51382	-25,34688	0,87363	-2,47462	3,15868	-5,25400	-2,20135	-26,82237	0,84821	-2,81714	2,63363
-4,73434	-3,75250	-25,02087	0,87845	-2,38679	3,26006	-5,16865	-2,47757	-26,54828	0,85347	-2,76212	2,74092
-4,64602	-3,98180	-24,68486	0,88318	-2,29300	3,36014	-5,08279	-2,74758	-26,26357	0,85864	-2,70019	2,84711
-4,55724	-4,20115	-24,33897	0,88783	-2,19348	3,45888	-4,99642	-3,01074	-25,96835	0,86372	-2,63151	2,95216
-4,46800	-4,41000	-23,98335	0,89238	-2,08847	3,55623	-4,90955	-3,26636	-25,66275	0,86872	-2,55626	3,05603
-4,37832	-4,60782	-23,61813	0,89685	-1,97824	3,65216	-4,82218	-3,51382	-25,34688	0,87363	-2,47462	3,15868
-4,28819	-4,79413	-23,24347	0,90123	-1,86307	3,74663	-4,73434	-3,75250	-25,02087	0,87845	-2,38679	3,26006
-4,19764	-4,96845	-22,85951	0,90552	-1,74324	3,83960	-4,64602	-3,98180	-24,68486	0,88318	-2,29300	3,36014
-4,10667	-5,13036	-22,46640	0,90972	-1,61906	3,93104	-4,55724	-4,20115	-24,33897	0,88783	-2,19348	3,45888
-4,01529	-5,27944	-22,06431	0,91382	-1,49082	4,02090	-4,46800	-4,41000	-23,98335	0,89238	-2,08847	3,55623
-3,92350	-5,41533	-21,65340	0,91784	-1,35887	4,10915	-4,37832	-4,60782	-23,61813	0,89685	-1,97824	3,65216
-3,83133	-5,53768	-21,23382	0,92176	-1,22351	4,19576	-4,28819	-4,79413	-23,24347	0,90123	-1,86307	3,74663
-3,73877	-5,64619	-20,80575	0,92559	-1,08510	4,28070	-4,19764	-4,96845	-22,85951	0,90552	-1,74324	3,83960
-3,64583	-5,74059	-20,36936	0,92933	-0,94397	4,36392	-4,10667	-5,13036	-22,46640	0,90972	-1,61906	3,93104
-3,55254	-5,82063	-19,92482	0,93298	-0,80049	4,44539	-4,01529	-5,27944	-22,06431	0,91382	-1,49082	4,02090
-3,45888	-5,88613	-19,47231	0,93653	-0,65500	4,52509	-3,92350	-5,41533	-21,65340	0,91784	-1,35887	4,10915
-3,36488	-5,93692	-19,01202	0,93999	-0,50788	4,60297	-3,83133	-5,53768	-21,23382	0,92176	-1,22351	4,19576
-3,27055	-5,97287	-18,54411	0,94335	-0,35949	4,67902	-3,73877	-5,64619	-20,80575	0,92559	-1,08510	4,28070
-3,17589	-5,99389	-18,06879	0,94662	-0,21020	4,75319	-3,64583	-5,74059	-20,36936	0,92933	-0,94397	4,36392
-3,08091	-5,99993	-17,58625	0,94980	-0,06038	4,82547	-3,55254	-5,82063	-19,92482	0,93298	-0,80049	4,44539
-2,98562	-5,99097	-17,09667	0,95288	0,08959	4,89581	-3,45888	-5,88613	-19,47231	0,93653	-0,65500	4,52509
-2,89003	-5,96704	-16,60025	0,95587	0,23933	4,96419	-3,36488	-5,93692	-19,01202	0,93999	-0,50788	4,60297
-2,79415	-5,92819	-16,09719	0,95876	0,38847	5,03059	-3,27055	-5,97287	-18,54411	0,94335	-0,35949	4,67902
-2,69800	-5,87452	-15,58769	0,96155	0,53665	5,09498	-3,17589	-5,99389	-18,06879	0,94662	-0,21020	4,75319
-2,60157	-5,80618	-15,07196	0,96425	0,68348	5,15733	-3,08091	-5,99993	-17,58625	0,94980	-0,06038	4,82547
-2,50489	-5,72332	-14,55020	0,96685	0,82861	5,21761	-2,98562	-5,99097	-17,09667	0,95288	0,08959	4,89581
-2,40795	-5,62615	-14,02261	0,96936	0,97166	5,27581	-2,89003	-5,96704	-16,60025	0,95587	0,23933	4,96419

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-2,31078	-5,51492	-13,48942	0,97176	1,11228	5,33190	-2,79415	-5,92819	-16,09719	0,95876	0,38847	5,03059
-2,21337	-5,38991	-12,95084	0,97407	1,25013	5,38586	-2,69800	-5,87452	-15,58769	0,96155	0,53665	5,09498
-2,11574	-5,25142	-12,40707	0,97629	1,38485	5,43766	-2,60157	-5,80618	-15,07196	0,96425	0,68348	5,15733
-2,01790	-5,09981	-11,85834	0,97840	1,51611	5,48729	-2,50489	-5,72332	-14,55020	0,96685	0,82861	5,21761
-1,91986	-4,93546	-11,30487	0,98042	1,64357	5,53472	-2,40795	-5,62615	-14,02261	0,96936	0,97166	5,27581
-1,82163	-4,75876	-10,74688	0,98234	1,76693	5,57994	-2,31078	-5,51492	-13,48942	0,97176	1,11228	5,33190
-1,72321	-4,57018	-10,18459	0,98416	1,88588	5,62292	-2,21337	-5,38991	-12,95084	0,97407	1,25013	5,38586
-1,62462	-4,37016	-9,61822	0,98589	2,00011	5,66366	-2,11574	-5,25142	-12,40707	0,97629	1,38485	5,43766
-1,52587	-4,15923	-9,04801	0,98751	2,10934	5,70213	-2,01790	-5,09981	-11,85834	0,97840	1,51611	5,48729
-1,42697	-3,93790	-8,47418	0,98904	2,21330	5,73832	-1,91986	-4,93546	-11,30487	0,98042	1,64357	5,53472
-1,32792	-3,70673	-7,89695	0,99046	2,31173	5,77222	-1,82163	-4,75876	-10,74688	0,98234	1,76693	5,57994
-1,22874	-3,46629	-7,31657	0,99179	2,40438	5,80380	-1,72321	-4,57018	-10,18459	0,98416	1,88588	5,62292
-1,12944	-3,21719	-6,73327	0,99302	2,49102	5,83307	-1,62462	-4,37016	-9,61822	0,98589	2,00011	5,66366
-1,03002	-2,96005	-6,14727	0,99415	2,57143	5,86000	-1,52587	-4,15923	-9,04801	0,98751	2,10934	5,70213
-0,93051	-2,69550	-5,55881	0,99518	2,64541	5,88459	-1,42697	-3,93790	-8,47418	0,98904	2,21330	5,73832
-0,83089	-2,42423	-4,96813	0,99611	2,71279	5,90682	-1,32792	-3,70673	-7,89695	0,99046	2,31173	5,77222
-0,73120	-2,14689	-4,37546	0,99694	2,77338	5,92670	-1,22874	-3,46629	-7,31657	0,99179	2,40438	5,80380
-0,63143	-1,86418	-3,78104	0,99767	2,82704	5,94420	-1,12944	-3,21719	-6,73327	0,99302	2,49102	5,83307
-0,53160	-1,57682	-3,18510	0,99830	2,87364	5,95932	-1,03002	-2,96005	-6,14727	0,99415	2,57143	5,86000
-0,43172	-1,28552	-2,58790	0,99884	2,91305	5,97206	-0,93051	-2,69550	-5,55881	0,99518	2,64541	5,88459
-0,33179	-0,99100	-1,98966	0,99927	2,94518	5,98241	-0,83089	-2,42423	-4,96813	0,99611	2,71279	5,90682
-0,23183	-0,69400	-1,39062	0,99960	2,96995	5,99037	-0,73120	-2,14689	-4,37546	0,99694	2,77338	5,92670
-0,13185	-0,39527	-0,79103	0,99983	2,98730	5,99593	-0,63143	-1,86418	-3,78104	0,99767	2,82704	5,94420
-0,03185	-0,09556	-0,19112	0,99996	2,99718	5,99910	-0,53160	-1,57682	-3,18510	0,99830	2,87364	5,95932
0,06815	0,20440	0,40887	0,99999	2,99956	5,99986	-0,43172	-1,28552	-2,58790	0,99884	2,91305	5,97206
0,16814	0,50385	1,00869	0,99993	2,99446	5,99823	-0,33179	-0,99100	-1,98966	0,99927	2,94518	5,98241
0,26811	0,80203	1,60811	0,99976	2,98186	5,99419	-0,23183	-0,69400	-1,39062	0,99960	2,96995	5,99037
0,36806	1,09821	2,20689	0,99949	2,96181	5,98776	-0,13185	-0,39527	-0,79103	0,99983	2,98730	5,99593
0,46798	1,39165	2,80478	0,99912	2,93437	5,97893	-0,03185	-0,09556	-0,19112	0,99996	2,99718	5,99910
0,56784	1,68161	3,40155	0,99865	2,89958	5,96771	0,06815	0,20440	0,40887	0,99999	2,99956	5,99986
0,66765	1,96736	3,99696	0,99809	2,85755	5,95411	0,16814	0,50385	1,00869	0,99993	2,99446	5,99823
0,76739	2,24820	4,59077	0,99742	2,80838	5,93812	0,26811	0,80203	1,60811	0,99976	2,98186	5,99419
0,86706	2,52342	5,18275	0,99665	2,75218	5,91976	0,36806	1,09821	2,20689	0,99949	2,96181	5,98776
0,96664	2,79233	5,77265	0,99578	2,68911	5,89903	0,46798	1,39165	2,80478	0,99912	2,93437	5,97893
1,06612	3,05426	6,36025	0,99482	2,61932	5,87594	0,56784	1,68161	3,40155	0,99865	2,89958	5,96771
1,16549	3,30856	6,94529	0,99375	2,54298	5,85050	0,66765	1,96736	3,99696	0,99809	2,85755	5,95411
1,26475	3,55459	7,52757	0,99259	2,46028	5,82272	0,76739	2,24820	4,59077	0,99742	2,80838	5,93812
1,36388	3,79173	8,10683	0,99132	2,37143	5,79261	0,86706	2,52342	5,18275	0,99665	2,75218	5,91976
1,46288	4,01940	8,68285	0,98996	2,27666	5,76018	0,96664	2,79233	5,77265	0,99578	2,68911	5,89903
1,56173	4,23702	9,25539	0,98849	2,17620	5,72545	1,06612	3,05426	6,36025	0,99482	2,61932	5,87594
1,66042	4,44405	9,82423	0,98693	2,07029	5,68843	1,16549	3,30856	6,94529	0,99375	2,54298	5,85050
1,75895	4,63997	10,38915	0,98527	1,95921	5,64913	1,26475	3,55459	7,52757	0,99259	2,46028	5,82272
1,85730	4,82429	10,94990	0,98351	1,84324	5,60758	1,36388	3,79173	8,10683	0,99132	2,37143	5,79261
1,95547	4,99656	11,50628	0,98166	1,72266	5,56378	1,46288	4,01940	8,68285	0,98996	2,27666	5,76018

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
2,05344	5,15633	12,05806	0,97970	1,59777	5,51776	1,56173	4,23702	9,25539	0,98849	2,17620	5,72545
2,15120	5,30322	12,60501	0,97765	1,46889	5,46953	1,66042	4,44405	9,82423	0,98693	2,07029	5,68843
2,24875	5,43686	13,14692	0,97550	1,33633	5,41911	1,75895	4,63997	10,38915	0,98527	1,95921	5,64913
2,34607	5,55690	13,68357	0,97325	1,20044	5,36652	1,85730	4,82429	10,94990	0,98351	1,84324	5,60758
2,44316	5,66305	14,21475	0,97090	1,06155	5,31179	1,95547	4,99656	11,50628	0,98166	1,72266	5,56378
2,54001	5,75505	14,74025	0,96846	0,92000	5,25493	2,05344	5,15633	12,05806	0,97970	1,59777	5,51776
2,63660	5,83267	15,25984	0,96592	0,77615	5,19597	2,15120	5,30322	12,60501	0,97765	1,46889	5,46953
2,73293	5,89571	15,77334	0,96328	0,63037	5,13494	2,24875	5,43686	13,14692	0,97550	1,33633	5,41911
2,82898	5,94401	16,28052	0,96055	0,48301	5,07185	2,34607	5,55690	13,68357	0,97325	1,20044	5,36652
2,92476	5,97745	16,78119	0,95772	0,33444	5,00673	2,44316	5,66305	14,21475	0,97090	1,06155	5,31179
3,02024	5,99595	17,27515	0,95479	0,18503	4,93960	2,54001	5,75505	14,74025	0,96846	0,92000	5,25493
3,11541	5,99947	17,76221	0,95177	0,03516	4,87050	2,63660	5,83267	15,25984	0,96592	0,77615	5,19597
3,21028	5,98799	18,24215	0,94866	-0,11479	4,79946	2,73293	5,89571	15,77334	0,96328	0,63037	5,13494
3,30482	5,96155	18,71480	0,94545	-0,26446	4,72649	2,82898	5,94401	16,28052	0,96055	0,48301	5,07185
3,39904	5,92020	19,17996	0,94214	-0,41347	4,65164	2,92476	5,97745	16,78119	0,95772	0,33444	5,00673
3,49291	5,86406	19,63746	0,93875	-0,56144	4,57492	3,02024	5,99595	17,27515	0,95479	0,18503	4,93960
3,58644	5,79325	20,08709	0,93525	-0,70801	4,49637	3,11541	5,99947	17,76221	0,95177	0,03516	4,87050
3,67961	5,70797	20,52870	0,93167	-0,85281	4,41603	3,21028	5,98799	18,24215	0,94866	-0,11479	4,79946
3,77240	5,60842	20,96209	0,92799	-0,99548	4,33391	3,30482	5,96155	18,71480	0,94545	-0,26446	4,72649
3,86483	5,49486	21,38709	0,92421	-1,13566	4,25007	3,39904	5,92020	19,17996	0,94214	-0,41347	4,65164
3,95686	5,36756	21,80355	0,92035	-1,27301	4,16452	3,49291	5,86406	19,63746	0,93875	-0,56144	4,57492
4,04850	5,22684	22,21128	0,91639	-1,40717	4,07731	3,58644	5,79325	20,08709	0,93525	-0,70801	4,49637
4,13973	5,07306	22,61012	0,91234	-1,53781	3,98847	3,67961	5,70797	20,52870	0,93167	-0,85281	4,41603
4,23055	4,90660	22,99993	0,90820	-1,66461	3,89803	3,77240	5,60842	20,96209	0,92799	-0,99548	4,33391
4,32095	4,72787	23,38053	0,90397	-1,78725	3,80603	3,86483	5,49486	21,38709	0,92421	-1,13566	4,25007
4,41092	4,53733	23,75178	0,89965	-1,90542	3,71252	3,95686	5,36756	21,80355	0,92035	-1,27301	4,16452
4,50044	4,33545	24,11353	0,89524	-2,01883	3,61751	4,04850	5,22684	22,21128	0,91639	-1,40717	4,07731
4,58951	4,12273	24,46564	0,89074	-2,12720	3,52106	4,13973	5,07306	22,61012	0,91234	-1,53781	3,98847
4,67813	3,89970	24,80796	0,88615	-2,23024	3,42320	4,23055	4,90660	22,99993	0,90820	-1,66461	3,89803
4,76628	3,66693	25,14036	0,88147	-2,32772	3,32397	4,32095	4,72787	23,38053	0,90397	-1,78725	3,80603
4,85395	3,42499	25,46270	0,87671	-2,41937	3,22341	4,41092	4,53733	23,75178	0,89965	-1,90542	3,71252
4,94113	3,17450	25,77485	0,87185	-2,50498	3,12157	4,50044	4,33545	24,11353	0,89524	-2,01883	3,61751
5,02782	2,91606	26,07670	0,86691	-2,58432	3,01847	4,58951	4,12273	24,46564	0,89074	-2,12720	3,52106
5,11401	2,65034	26,36812	0,86188	-2,65721	2,91417	4,67813	3,89970	24,80796	0,88615	-2,23024	3,42320
5,19969	2,37800	26,64899	0,85677	-2,72345	2,80870	4,76628	3,66693	25,14036	0,88147	-2,32772	3,32397
5,28485	2,09971	26,91920	0,85157	-2,78289	2,70211	4,85395	3,42499	25,46270	0,87671	-2,41937	3,22341
5,36948	1,81617	27,17864	0,84629	-2,83537	2,59443	4,94113	3,17450	25,77485	0,87185	-2,50498	3,12157
5,45357	1,52809	27,42721	0,84092	-2,88077	2,48572	5,02782	2,91606	26,07670	0,86691	-2,58432	3,01847
5,53711	1,23620	27,66482	0,83546	-2,91896	2,37602	5,11401	2,65034	26,36812	0,86188	-2,65721	2,91417
5,62011	0,94121	27,89135	0,82993	-2,94986	2,26536	5,19969	2,37800	26,64899	0,85677	-2,72345	2,80870
5,70254	0,64387	28,10673	0,82431	-2,97339	2,15380	5,28485	2,09971	26,91920	0,85157	-2,78289	2,70211
5,78440	0,34492	28,31087	0,81860	-2,98948	2,04138	5,36948	1,81617	27,17864	0,84629	-2,83537	2,59443
5,86568	0,04511	28,50368	0,81282	-2,99810	1,92814	5,45357	1,52809	27,42721	0,84092	-2,88077	2,48572
5,94637	-0,25481	28,68510	0,80695	-2,99923	1,81413	5,53711	1,23620	27,66482	0,83546	-2,91896	2,37602

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
6,02648	-0,55409	28,85504	0,80101	-2,99286	1,69939	5,62011	0,94121	27,89135	0,82993	-2,94986	2,26536
6,10597	-0,85200	29,01343	0,79498	-2,97901	1,58397	5,70254	0,64387	28,10673	0,82431	-2,97339	2,15380
6,18486	-1,14777	29,16023	0,78888	-2,95772	1,46792	5,78440	0,34492	28,31087	0,81860	-2,98948	2,04138
6,26313	-1,44067	29,29535	0,78269	-2,92903	1,35129	5,86568	0,04511	28,50368	0,81282	-2,99810	1,92814
6,34077	-1,72997	29,41876	0,77643	-2,89302	1,23411	5,94637	-0,25481	28,68510	0,80695	-2,99923	1,81413
6,41778	-2,01495	29,53041	0,77009	-2,84978	1,11644	6,02648	-0,55409	28,85504	0,80101	-2,99286	1,69939
6,49415	-2,29489	29,63024	0,76367	-2,79941	0,99832	6,10597	-0,85200	29,01343	0,79498	-2,97901	1,58397
6,56987	-2,56910	29,71822	0,75717	-2,74205	0,87980	6,18486	-1,14777	29,16023	0,78888	-2,95772	1,46792
6,64493	-2,83688	29,79431	0,75060	-2,67784	0,76093	6,26313	-1,44067	29,29535	0,78269	-2,92903	1,35129
6,71932	-3,09757	29,85849	0,74396	-2,60693	0,64176	6,34077	-1,72997	29,41876	0,77643	-2,89302	1,23411
6,79305	-3,35052	29,91072	0,73724	-2,52951	0,52233	6,41778	-2,01495	29,53041	0,77009	-2,84978	1,11644
6,86609	-3,59510	29,95099	0,73045	-2,44576	0,40269	6,49415	-2,29489	29,63024	0,76367	-2,79941	0,99832
6,93845	-3,83069	29,97928	0,72358	-2,35591	0,28289	6,56987	-2,56910	29,71822	0,75717	-2,74205	0,87980
7,01011	-4,05671	29,99558	0,71664	-2,26016	0,16298	6,64493	-2,83688	29,79431	0,75060	-2,67784	0,76093
7,08108	-4,27258	29,99988	0,70963	-2,15876	0,04300	6,71932	-3,09757	29,85849	0,74396	-2,60693	0,64176
7,15133	-4,47778	29,99218	0,70255	-2,05197	-0,07699	6,79305	-3,35052	29,91072	0,73724	-2,52951	0,52233
7,22087	-4,67178	29,97248	0,69540	-1,94005	-0,19696	6,86609	-3,59510	29,95099	0,73045	-2,44576	0,40269
7,28969	-4,85411	29,94080	0,68818	-1,82328	-0,31685	6,93845	-3,83069	29,97928	0,72358	-2,35591	0,28289
7,35778	-5,02431	29,89714	0,68089	-1,70195	-0,43660	7,01011	-4,05671	29,99558	0,71664	-2,26016	0,16298
7,42513	-5,18194	29,84152	0,67353	-1,57637	-0,55619	7,08108	-4,27258	29,99988	0,70963	-2,15876	0,04300
7,49174	-5,32663	29,77397	0,66611	-1,44685	-0,67555	7,15133	-4,47778	29,99218	0,70255	-2,05197	-0,07699
7,55761	-5,45800	29,69450	0,65862	-1,31371	-0,79464	7,22087	-4,67178	29,97248	0,69540	-1,94005	-0,19696
7,62271	-5,57573	29,60316	0,65106	-1,17729	-0,91342	7,28969	-4,85411	29,94080	0,68818	-1,82328	-0,31685
7,68705	-5,67952	29,49998	0,64344	-1,03792	-1,03183	7,35778	-5,02431	29,89714	0,68089	-1,70195	-0,43660
7,75063	-5,76912	29,38499	0,63575	-0,89596	-1,14982	7,42513	-5,18194	29,84152	0,67353	-1,57637	-0,55619
7,81343	-5,84429	29,25826	0,62800	-0,75177	-1,26736	7,49174	-5,32663	29,77397	0,66611	-1,44685	-0,67555
7,87545	-5,90486	29,11982	0,62018	-0,60569	-1,38439	7,55761	-5,45800	29,69450	0,65862	-1,31371	-0,79464
7,93668	-5,95067	28,96973	0,61231	-0,45810	-1,50086	7,62271	-5,57573	29,60316	0,65106	-1,17729	-0,91342
7,99712	-5,98161	28,80806	0,60437	-0,30936	-1,61674	7,68705	-5,67952	29,49998	0,64344	-1,03792	-1,03183
8,05675	-5,99759	28,63486	0,59638	-0,15985	-1,73197	7,75063	-5,76912	29,38499	0,63575	-0,89596	-1,14982
8,11559	-5,99859	28,45021	0,58832	-0,00995	-1,84650	7,81343	-5,84429	29,25826	0,62800	-0,75177	-1,26736
8,17361	-5,98459	28,25418	0,58020	0,13999	-1,96030	7,87545	-5,90486	29,11982	0,62018	-0,60569	-1,38439
8,23081	-5,95563	28,04685	0,57203	0,28957	-2,07331	7,93668	-5,95067	28,96973	0,61231	-0,45810	-1,50086
8,28719	-5,91179	27,82830	0,56380	0,43843	-2,18550	7,99712	-5,98161	28,80806	0,60437	-0,30936	-1,61674
8,34274	-5,85317	27,59862	0,55551	0,58620	-2,29680	8,05675	-5,99759	28,63486	0,59638	-0,15985	-1,73197
8,39746	-5,77992	27,35790	0,54717	0,73249	-2,40720	8,11559	-5,99859	28,45021	0,58832	-0,00995	-1,84650
8,45133	-5,69223	27,10624	0,53877	0,87696	-2,51662	8,17361	-5,98459	28,25418	0,58020	0,13999	-1,96030
8,50437	-5,59030	26,84374	0,53032	1,01924	-2,62505	8,23081	-5,95563	28,04685	0,57203	0,28957	-2,07331
8,55655	-5,47440	26,57049	0,52182	1,15897	-2,73242	8,28719	-5,91179	27,82830	0,56380	0,43843	-2,18550
8,60787	-5,34482	26,28662	0,51326	1,29580	-2,83869	8,34274	-5,85317	27,59862	0,55551	0,58620	-2,29680
8,65834	-5,20189	25,99224	0,50465	1,42939	-2,94384	8,39746	-5,77992	27,35790	0,54717	0,73249	-2,40720
8,70794	-5,04594	25,68746	0,49599	1,55941	-3,04780	8,45133	-5,69223	27,10624	0,53877	0,87696	-2,51662
8,75667	-4,87739	25,37240	0,48729	1,68553	-3,15055	8,50437	-5,59030	26,84374	0,53032	1,01924	-2,62505
8,80452	-4,69665	25,04720	0,47853	1,80744	-3,25204	8,55655	-5,47440	26,57049	0,52182	1,15897	-2,73242

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
8,85149	-4,50416	24,71198	0,46973	1,92483	-3,35222	8,60787	-5,34482	26,28662	0,51326	1,29580	-2,83869
8,89758	-4,30042	24,36687	0,46087	2,03742	-3,45107	8,65834	-5,20189	25,99224	0,50465	1,42939	-2,94384
8,94278	-4,08593	24,01202	0,45198	2,14490	-3,54853	8,70794	-5,04594	25,68746	0,49599	1,55941	-3,04780
8,98708	-3,86123	23,64756	0,44303	2,24703	-3,64458	8,75667	-4,87739	25,37240	0,48729	1,68553	-3,15055
9,03049	-3,62687	23,27365	0,43405	2,34354	-3,73916	8,80452	-4,69665	25,04720	0,47853	1,80744	-3,25204
9,07299	-3,38346	22,89042	0,42502	2,43419	-3,83225	8,85149	-4,50416	24,71198	0,46973	1,92483	-3,35222
9,11458	-3,13158	22,49804	0,41594	2,51876	-3,92381	8,89758	-4,30042	24,36687	0,46087	2,03742	-3,45107
9,15526	-2,87188	22,09666	0,40683	2,59704	-4,01380	8,94278	-4,08593	24,01202	0,45198	2,14490	-3,54853
9,19503	-2,60499	21,68644	0,39767	2,66882	-4,10219	8,98708	-3,86123	23,64756	0,44303	2,24703	-3,64458
9,23388	-2,33160	21,26755	0,38848	2,73393	-4,18893	9,03049	-3,62687	23,27365	0,43405	2,34354	-3,73916
9,27180	-2,05238	20,84015	0,37924	2,79221	-4,27400	9,07299	-3,38346	22,89042	0,42502	2,43419	-3,83225
9,30880	-1,76803	20,40441	0,36997	2,84351	-4,35735	9,11458	-3,13158	22,49804	0,41594	2,51876	-3,92381
9,34487	-1,47926	19,96052	0,36066	2,88770	-4,43897	9,15526	-2,87188	22,09666	0,40683	2,59704	-4,01380
9,38000	-1,18679	19,50864	0,35132	2,92467	-4,51881	9,19503	-2,60499	21,68644	0,39767	2,66882	-4,10219
9,41419	-0,89136	19,04895	0,34194	2,95433	-4,59684	9,23388	-2,33160	21,26755	0,38848	2,73393	-4,18893
9,44745	-0,59370	18,58165	0,33253	2,97661	-4,67303	9,27180	-2,05238	20,84015	0,37924	2,79221	-4,27400
9,47975	-0,29455	18,10691	0,32308	2,99145	-4,74736	9,30880	-1,76803	20,40441	0,36997	2,84351	-4,35735
9,51111	0,00533	17,62493	0,31360	2,99882	-4,81978	9,34487	-1,47926	19,96052	0,36066	2,88770	-4,43897
9,54152	0,30520	17,13591	0,30409	2,99868	-4,89028	9,38000	-1,18679	19,50864	0,35132	2,92467	-4,51881
9,57098	0,60430	16,64002	0,29455	2,99105	-4,95882	9,41419	-0,89136	19,04895	0,34194	2,95433	-4,59684
9,59947	0,90190	16,13749	0,28498	2,97595	-5,02538	9,44745	-0,59370	18,58165	0,33253	2,97661	-4,67303
9,62701	1,19724	15,62849	0,27538	2,95341	-5,08993	9,47975	-0,29455	18,10691	0,32308	2,99145	-4,74736
9,65359	1,48959	15,11325	0,26575	2,92348	-5,15244	9,51111	0,00533	17,62493	0,31360	2,99882	-4,81978
9,67920	1,77821	14,59196	0,25610	2,88625	-5,21289	9,54152	0,30520	17,13591	0,30409	2,99868	-4,89028
9,70384	2,06239	14,06484	0,24642	2,84180	-5,27126	9,57098	0,60430	16,64002	0,29455	2,99105	-4,95882
9,72751	2,34142	13,53208	0,23671	2,79026	-5,32751	9,59947	0,90190	16,13749	0,28498	2,97595	-5,02538
9,75021	2,61459	12,99392	0,22698	2,73173	-5,38164	9,62701	1,19724	15,62849	0,27538	2,95341	-5,08993
9,77193	2,88123	12,45056	0,21723	2,66638	-5,43361	9,65359	1,48959	15,11325	0,26575	2,92348	-5,15244
9,79268	3,14067	11,90222	0,20746	2,59437	-5,48341	9,67920	1,77821	14,59196	0,25610	2,88625	-5,21289
9,81244	3,39225	11,34912	0,19767	2,51586	-5,53102	9,70384	2,06239	14,06484	0,24642	2,84180	-5,27126
9,83123	3,63536	10,79147	0,18786	2,43108	-5,57642	9,72751	2,34142	13,53208	0,23671	2,79026	-5,32751
9,84903	3,86938	10,22952	0,17803	2,34021	-5,61958	9,75021	2,61459	12,99392	0,22698	2,73173	-5,38164
9,86585	4,09373	9,66347	0,16818	2,24350	-5,66050	9,77193	2,88123	12,45056	0,21723	2,66638	-5,43361
9,88168	4,30785	9,09355	0,15831	2,14117	-5,69915	9,79268	3,14067	11,90222	0,20746	2,59437	-5,48341
9,89653	4,51120	8,52000	0,14843	2,03350	-5,73552	9,81244	3,39225	11,34912	0,19767	2,51586	-5,53102
9,91038	4,70327	7,94304	0,13853	1,92074	-5,76960	9,83123	3,63536	10,79147	0,18786	2,43108	-5,57642
9,92324	4,88359	7,36290	0,12862	1,80319	-5,80137	9,84903	3,86938	10,22952	0,17803	2,34021	-5,61958
9,93511	5,05170	6,77982	0,11870	1,68112	-5,83082	9,86585	4,09373	9,66347	0,16818	2,24350	-5,66050
9,94599	5,20719	6,19402	0,10877	1,55486	-5,85794	9,88168	4,30785	9,09355	0,15831	2,14117	-5,69915
9,95587	5,34966	5,60575	0,09882	1,42470	-5,88272	9,89653	4,51120	8,52000	0,14843	2,03350	-5,73552
9,96476	5,47876	5,01524	0,08886	1,29099	-5,90514	9,91038	4,70327	7,94304	0,13853	1,92074	-5,76960
9,97265	5,59416	4,42272	0,07890	1,15405	-5,92520	9,92324	4,88359	7,36290	0,12862	1,80319	-5,80137
9,97954	5,69559	3,82843	0,06893	1,01423	-5,94289	9,93511	5,05170	6,77982	0,11870	1,68112	-5,83082
9,98543	5,78277	3,23261	0,05895	0,87187	-5,95820	9,94599	5,20719	6,19402	0,10877	1,55486	-5,85794

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
9,99033	5,85550	2,63550	0,04896	0,72733	-5,97113	9,95587	5,34966	5,60575	0,09882	1,42470	-5,88272
9,99423	5,91360	2,03733	0,03897	0,58097	-5,98167	9,96476	5,47876	5,01524	0,08886	1,29099	-5,90514
9,99712	5,95692	1,43835	0,02898	0,43316	-5,98982	9,97265	5,59416	4,42272	0,07890	1,15405	-5,92520
9,99902	5,98534	0,83879	0,01898	0,28427	-5,99558	9,97954	5,69559	3,82843	0,06893	1,01423	-5,94289
9,99992	5,99881	0,23890	0,00898	0,13467	-5,99893	9,98543	5,78277	3,23261	0,05895	0,87187	-5,95820
9,99982	5,99728	-0,36109	-0,00102	-0,01527	-5,99989	9,99033	5,85550	2,63550	0,04896	0,72733	-5,97113
9,99872	5,98077	-0,96094	-0,01102	-0,16517	-5,99844	9,99423	5,91360	2,03733	0,03897	0,58097	-5,98167
9,99662	5,94930	-1,56040	-0,02102	-0,31466	-5,99460	9,99712	5,95692	1,43835	0,02898	0,43316	-5,98982
9,99351	5,90296	-2,15923	-0,03101	-0,46336	-5,98836	9,99902	5,98534	0,83879	0,01898	0,28427	-5,99558
9,98941	5,84187	-2,75721	-0,04101	-0,61091	-5,97972	9,99992	5,99881	0,23890	0,00898	0,13467	-5,99893
9,98431	5,76618	-3,35407	-0,05100	-0,75692	-5,96869	9,99982	5,99728	-0,36109	-0,00102	-0,01527	-5,99989
9,97822	5,67608	-3,94960	-0,06098	-0,90105	-5,95528	9,99872	5,98077	-0,96094	-0,01102	-0,16517	-5,99844
9,97112	5,57178	-4,54355	-0,07096	-1,04292	-5,93948	9,99662	5,94930	-1,56040	-0,02102	-0,31466	-5,99460
9,96303	5,45356	-5,13568	-0,08093	-1,18219	-5,92131	9,99351	5,90296	-2,15923	-0,03101	-0,46336	-5,98836
9,95394	5,32172	-5,72576	-0,09089	-1,31850	-5,90076	9,98941	5,84187	-2,75721	-0,04101	-0,61091	-5,97972
9,94385	5,17656	-6,31354	-0,10085	-1,45151	-5,87786	9,98431	5,76618	-3,35407	-0,05100	-0,75692	-5,96869
9,93277	5,01847	-6,89880	-0,11079	-1,58090	-5,85261	9,97822	5,67608	-3,94960	-0,06098	-0,90105	-5,95528
9,92070	4,84784	-7,48131	-0,12072	-1,70634	-5,82501	9,97112	5,57178	-4,54355	-0,07096	-1,04292	-5,93948
9,90764	4,66509	-8,06081	-0,13064	-1,82751	-5,79509	9,96303	5,45356	-5,13568	-0,08093	-1,18219	-5,92131
9,89358	4,47068	-8,63710	-0,14055	-1,94411	-5,76285	9,95394	5,32172	-5,72576	-0,09089	-1,31850	-5,90076
9,87854	4,26509	-9,20993	-0,15044	-2,05585	-5,72830	9,94385	5,17656	-6,31354	-0,10085	-1,45151	-5,87786
9,86251	4,04885	-9,77908	-0,16032	-2,16246	-5,69146	9,93277	5,01847	-6,89880	-0,11079	-1,58090	-5,85261
9,84549	3,82248	-10,34431	-0,17019	-2,26366	-5,65235	9,92070	4,84784	-7,48131	-0,12072	-1,70634	-5,82501
9,82748	3,58656	-10,90541	-0,18003	-2,35920	-5,61097	9,90764	4,66509	-8,06081	-0,13064	-1,82751	-5,79509
9,80850	3,34168	-11,46214	-0,18986	-2,44885	-5,56735	9,89358	4,47068	-8,63710	-0,14055	-1,94411	-5,76285
9,78853	3,08844	-12,01429	-0,19967	-2,53237	-5,52150	9,87854	4,26509	-9,20993	-0,15044	-2,05585	-5,72830
9,76759	2,82748	-12,56164	-0,20945	-2,60956	-5,47345	9,86251	4,04885	-9,77908	-0,16032	-2,16246	-5,69146
9,74566	2,55946	-13,10396	-0,21922	-2,68024	-5,42320	9,84549	3,82248	-10,34431	-0,17019	-2,26366	-5,65235
9,72277	2,28504	-13,64104	-0,22897	-2,74421	-5,37079	9,82748	3,58656	-10,90541	-0,18003	-2,35920	-5,61097
9,69890	2,00491	-14,17266	-0,23869	-2,80132	-5,31623	9,80850	3,34168	-11,46214	-0,18986	-2,44885	-5,56735
9,67406	1,71976	-14,69861	-0,24839	-2,85144	-5,25954	9,78853	3,08844	-12,01429	-0,19967	-2,53237	-5,52150
9,64825	1,43032	-15,21869	-0,25806	-2,89442	-5,20075	9,76759	2,82748	-12,56164	-0,20945	-2,60956	-5,47345
9,62148	1,13730	-15,73268	-0,26771	-2,93017	-5,13987	9,74566	2,55946	-13,10396	-0,21922	-2,68024	-5,42320
9,59375	0,84144	-16,24037	-0,27733	-2,95860	-5,07694	9,72277	2,28504	-13,64104	-0,22897	-2,74421	-5,37079
9,56506	0,54348	-16,74157	-0,28693	-2,97963	-5,01198	9,69890	2,00491	-14,17266	-0,23869	-2,80132	-5,31623
9,53541	0,24416	-17,23607	-0,29649	-2,99321	-4,94502	9,67406	1,71976	-14,69861	-0,24839	-2,85144	-5,25954
9,50480	-0,05577	-17,72368	-0,30603	-2,99932	-4,87608	9,64825	1,43032	-15,21869	-0,25806	-2,89442	-5,20075
9,47325	-0,35556	-18,20420	-0,31553	-2,99792	-4,80519	9,62148	1,13730	-15,73268	-0,26771	-2,93017	-5,13987
9,44075	-0,65447	-18,67743	-0,32500	-2,98904	-4,73237	9,59375	0,84144	-16,24037	-0,27733	-2,95860	-5,07694
9,40731	-0,95174	-19,14320	-0,33445	-2,97268	-4,65766	9,56506	0,54348	-16,74157	-0,28693	-2,97963	-5,01198
9,37292	-1,24662	-19,60131	-0,34385	-2,94889	-4,58109	9,53541	0,24416	-17,23607	-0,29649	-2,99321	-4,94502
9,33760	-1,53840	-20,05158	-0,35323	-2,91773	-4,50269	9,50480	-0,05577	-17,72368	-0,30603	-2,99932	-4,87608
9,30134	-1,82633	-20,49383	-0,36256	-2,87928	-4,42249	9,47325	-0,35556	-18,20420	-0,31553	-2,99792	-4,80519
9,26415	-2,10969	-20,92788	-0,37186	-2,83363	-4,34052	9,44075	-0,65447	-18,67743	-0,32500	-2,98904	-4,73237

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
9,22604	-2,38778	-21,35356	-0,38113	-2,78090	-4,25681	9,40731	-0,95174	-19,14320	-0,33445	-2,97268	-4,65766
9,18701	-2,65990	-21,77070	-0,39035	-2,72122	-4,17140	9,37292	-1,24662	-19,60131	-0,34385	-2,94889	-4,58109
9,14705	-2,92537	-22,17913	-0,39954	-2,65473	-4,08432	9,33760	-1,53840	-20,05158	-0,35323	-2,91773	-4,50269
9,10618	-3,18354	-22,57869	-0,40869	-2,58161	-3,99560	9,30134	-1,82633	-20,49383	-0,36256	-2,87928	-4,42249
9,06440	-3,43374	-22,96922	-0,41779	-2,50204	-3,90529	9,26415	-2,10969	-20,92788	-0,37186	-2,83363	-4,34052
9,02172	-3,67536	-23,35056	-0,42686	-2,41622	-3,81342	9,22604	-2,38778	-21,35356	-0,38113	-2,78090	-4,25681
8,97813	-3,90780	-23,72256	-0,43588	-2,32435	-3,72002	9,18701	-2,65990	-21,77070	-0,39035	-2,72122	-4,17140
8,93364	-4,13046	-24,08508	-0,44486	-2,22668	-3,62513	9,14705	-2,92537	-22,17913	-0,39954	-2,65473	-4,08432
8,88827	-4,34281	-24,43796	-0,45379	-2,12344	-3,52879	9,10618	-3,18354	-22,57869	-0,40869	-2,58161	-3,99560
8,84200	-4,54430	-24,78106	-0,46268	-2,01489	-3,43104	9,06440	-3,43374	-22,96922	-0,41779	-2,50204	-3,90529
8,79484	-4,73443	-25,11425	-0,47152	-1,90131	-3,33192	9,02172	-3,67536	-23,35056	-0,42686	-2,41622	-3,81342
8,74681	-4,91272	-25,43740	-0,48032	-1,78297	-3,23147	8,97813	-3,90780	-23,72256	-0,43588	-2,32435	-3,72002
8,69791	-5,07874	-25,75037	-0,48906	-1,66018	-3,12972	8,93364	-4,13046	-24,08508	-0,44486	-2,22668	-3,62513
8,64813	-5,23207	-26,05305	-0,49776	-1,53324	-3,02673	8,88827	-4,34281	-24,43796	-0,45379	-2,12344	-3,52879
8,59749	-5,37231	-26,34530	-0,50641	-1,40246	-2,92252	8,84200	-4,54430	-24,78106	-0,46268	-2,01489	-3,43104
8,54599	-5,49913	-26,62701	-0,51501	-1,26818	-2,81714	8,79484	-4,73443	-25,11425	-0,47152	-1,90131	-3,33192
8,49363	-5,61220	-26,89807	-0,52355	-1,13073	-2,71064	8,74681	-4,91272	-25,43740	-0,48032	-1,78297	-3,23147
8,44043	-5,71125	-27,15838	-0,53205	-0,99046	-2,60305	8,69791	-5,07874	-25,75037	-0,48906	-1,66018	-3,12972
8,38638	-5,79602	-27,40782	-0,54049	-0,84770	-2,49442	8,64813	-5,23207	-26,05305	-0,49776	-1,53324	-3,02673
8,33149	-5,86630	-27,64630	-0,54887	-0,70283	-2,38479	8,59749	-5,37231	-26,34530	-0,50641	-1,40246	-2,92252
8,27577	-5,92192	-27,87372	-0,55720	-0,55621	-2,27421	8,54599	-5,49913	-26,62701	-0,51501	-1,26818	-2,81714
8,21922	-5,96274	-28,08999	-0,56548	-0,40819	-2,16272	8,49363	-5,61220	-26,89807	-0,52355	-1,13073	-2,71064
8,16185	-5,98866	-28,29503	-0,57370	-0,25915	-2,05036	8,44043	-5,71125	-27,15838	-0,53205	-0,99046	-2,60305
8,10367	-5,99960	-28,48875	-0,58186	-0,10947	-1,93718	8,38638	-5,79602	-27,40782	-0,54049	-0,84770	-2,49442
8,04467	-5,99555	-28,67107	-0,58996	0,04049	-1,82323	8,33149	-5,86630	-27,64630	-0,54887	-0,70283	-2,38479
7,98487	-5,97652	-28,84192	-0,59801	0,19035	-1,70855	8,27577	-5,92192	-27,87372	-0,55720	-0,55621	-2,27421
7,92427	-5,94255	-29,00124	-0,60599	0,33973	-1,59319	8,21922	-5,96274	-28,08999	-0,56548	-0,40819	-2,16272
7,86288	-5,89372	-29,14896	-0,61392	0,48826	-1,47719	8,16185	-5,98866	-28,29503	-0,57370	-0,25915	-2,05036
7,80070	-5,83016	-29,28502	-0,62178	0,63558	-1,36059	8,10367	-5,99960	-28,48875	-0,58186	-0,10947	-1,93718
7,73774	-5,75203	-29,40937	-0,62958	0,78130	-1,24346	8,04467	-5,99555	-28,67107	-0,58996	0,04049	-1,82323
7,67401	-5,65952	-29,52195	-0,63732	0,92507	-1,12583	7,98487	-5,97652	-28,84192	-0,59801	0,19035	-1,70855
7,60951	-5,55287	-29,62272	-0,64499	1,06653	-1,00774	7,92427	-5,94255	-29,00124	-0,60599	0,33973	-1,59319
7,54425	-5,43234	-29,71165	-0,65260	1,20532	-0,88925	7,86288	-5,89372	-29,14896	-0,61392	0,48826	-1,47719
7,47824	-5,29823	-29,78869	-0,66015	1,34110	-0,77041	7,80070	-5,83016	-29,28502	-0,62178	0,63558	-1,36059
7,41147	-5,15088	-29,85382	-0,66763	1,47353	-0,65126	7,73774	-5,75203	-29,40937	-0,62958	0,78130	-1,24346
7,34397	-4,99065	-29,90700	-0,67504	1,60228	-0,53185	7,67401	-5,65952	-29,52195	-0,63732	0,92507	-1,12583
7,27573	-4,81795	-29,94822	-0,68238	1,72702	-0,41223	7,60951	-5,55287	-29,62272	-0,64499	1,06653	-1,00774
7,20677	-4,63320	-29,97747	-0,68966	1,84744	-0,29244	7,54425	-5,43234	-29,71165	-0,65260	1,20532	-0,88925
7,13708	-4,43688	-29,99472	-0,69686	1,96325	-0,17253	7,47824	-5,29823	-29,78869	-0,66015	1,34110	-0,77041
7,06668	-4,22946	-29,99998	-0,70400	2,07414	-0,05256	7,41147	-5,15088	-29,85382	-0,66763	1,47353	-0,65126
6,99557	-4,01148	-29,99323	-0,71107	2,17986	0,06744	7,34397	-4,99065	-29,90700	-0,67504	1,60228	-0,53185
6,92377	-3,78347	-29,97449	-0,71806	2,28013	0,18741	7,27573	-4,81795	-29,94822	-0,68238	1,72702	-0,41223
6,85127	-3,54600	-29,94376	-0,72499	2,37469	0,30730	7,20677	-4,63320	-29,97747	-0,68966	1,84744	-0,29244
6,77809	-3,29966	-29,90105	-0,73184	2,46332	0,42707	7,13708	-4,43688	-29,99472	-0,69686	1,96325	-0,17253

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
6,70422	-3,04508	-29,84639	-0,73862	2,54580	0,54667	7,06668	-4,22946	-29,99998	-0,70400	2,07414	-0,05256
6,62969	-2,78289	-29,77978	-0,74532	2,62191	0,66606	6,99557	-4,01148	-29,99323	-0,71107	2,17986	0,06744
6,55450	-2,51375	-29,70126	-0,75195	2,69147	0,78517	6,92377	-3,78347	-29,97449	-0,71806	2,28013	0,18741
6,47865	-2,23832	-29,61087	-0,75850	2,75430	0,90397	6,85127	-3,54600	-29,94376	-0,72499	2,37469	0,30730
6,40215	-1,95729	-29,50863	-0,76498	2,81024	1,02241	6,77809	-3,29966	-29,90105	-0,73184	2,46332	0,42707
6,32501	-1,67138	-29,39458	-0,77138	2,85917	1,14044	6,70422	-3,04508	-29,84639	-0,73862	2,54580	0,54667
6,24724	-1,38128	-29,26878	-0,77771	2,90094	1,25802	6,62969	-2,78289	-29,77978	-0,74532	2,62191	0,66606
6,16884	-1,08773	-29,13127	-0,78396	2,93547	1,37509	6,55450	-2,51375	-29,70126	-0,75195	2,69147	0,78517
6,08983	-0,79147	-28,98211	-0,79013	2,96265	1,49161	6,47865	-2,23832	-29,61087	-0,75850	2,75430	0,90397
6,01021	-0,49323	-28,82136	-0,79621	2,98244	1,60753	6,40215	-1,95729	-29,50863	-0,76498	2,81024	1,02241
5,92999	-0,19375	-28,64908	-0,80222	2,99476	1,72281	6,32501	-1,67138	-29,39458	-0,77138	2,85917	1,14044
5,84917	0,10621	-28,46533	-0,80815	2,99961	1,83741	6,24724	-1,38128	-29,26878	-0,77771	2,90094	1,25802
5,76777	0,40591	-28,27021	-0,81400	2,99695	1,95127	6,16884	-1,08773	-29,13127	-0,78396	2,93547	1,37509
5,68579	0,70459	-28,06377	-0,81977	2,98681	2,06434	6,08983	-0,79147	-28,98211	-0,79013	2,96265	1,49161
5,60325	1,00151	-27,84611	-0,82546	2,96920	2,17659	6,01021	-0,49323	-28,82136	-0,79621	2,98244	1,60753
5,52014	1,29592	-27,61732	-0,83106	2,94416	2,28797	5,92999	-0,19375	-28,64908	-0,80222	2,99476	1,72281
5,43648	1,58710	-27,37747	-0,83658	2,91177	2,39844	5,84917	0,10621	-28,46533	-0,80815	2,99961	1,83741
5,35228	1,87431	-27,12668	-0,84202	2,87210	2,50795	5,76777	0,40591	-28,27021	-0,81400	2,99695	1,95127
5,26755	2,15684	-26,86503	-0,84737	2,82526	2,61645	5,68579	0,70459	-28,06377	-0,81977	2,98681	2,06434
5,18228	2,43397	-26,59264	-0,85264	2,77135	2,72391	5,60325	1,00151	-27,84611	-0,82546	2,96920	2,17659
5,09650	2,70502	-26,30962	-0,85782	2,71051	2,83027	5,52014	1,29592	-27,61732	-0,83106	2,94416	2,28797
5,01021	2,96931	-26,01607	-0,86292	2,64290	2,93551	5,43648	1,58710	-27,37747	-0,83658	2,91177	2,39844
4,92342	3,22618	-25,71211	-0,86793	2,56868	3,03957	5,35228	1,87431	-27,12668	-0,84202	2,87210	2,50795
4,83613	3,47498	-25,39787	-0,87285	2,48804	3,14241	5,26755	2,15684	-26,86503	-0,84737	2,82526	2,61645
4,74836	3,71510	-25,07347	-0,87769	2,40119	3,24400	5,18228	2,43397	-26,59264	-0,85264	2,77135	2,72391
4,66012	3,94594	-24,73904	-0,88243	2,30833	3,34429	5,09650	2,70502	-26,30962	-0,85782	2,71051	2,83027
4,57141	4,16691	-24,39471	-0,88709	2,20970	3,44324	5,01021	2,96931	-26,01607	-0,86292	2,64290	2,93551
4,48224	4,37746	-24,04063	-0,89167	2,10555	3,54082	4,92342	3,22618	-25,71211	-0,86793	2,56868	3,03957
4,39263	4,57707	-23,67693	-0,89615	1,99614	3,63698	4,83613	3,47498	-25,39787	-0,87285	2,48804	3,14241
4,30257	4,76525	-23,30376	-0,90054	1,88173	3,73168	4,74836	3,71510	-25,07347	-0,87769	2,40119	3,24400
4,21209	4,94151	-22,92128	-0,90484	1,76263	3,82490	4,66012	3,94594	-24,73904	-0,88243	2,30833	3,34429
4,12118	5,10542	-22,52962	-0,90905	1,63911	3,91658	4,57141	4,16691	-24,39471	-0,88709	2,20970	3,44324
4,02987	5,25657	-22,12895	-0,91318	1,51150	4,00669	4,48224	4,37746	-24,04063	-0,89167	2,10555	3,54082
3,93815	5,39458	-21,71943	-0,91721	1,38012	4,09521	4,39263	4,57707	-23,67693	-0,89615	1,99614	3,63698
3,84603	5,51911	-21,30122	-0,92114	1,24528	4,18208	4,30257	4,76525	-23,30376	-0,90054	1,88173	3,73168
3,75353	5,62984	-20,87449	-0,92499	1,10733	4,26728	4,21209	4,94151	-22,92128	-0,90484	1,76263	3,82490
3,66066	5,72651	-20,43941	-0,92874	0,96662	4,35078	4,12118	5,10542	-22,52962	-0,90905	1,63911	3,91658
3,56742	5,80885	-19,99616	-0,93240	0,82348	4,43253	4,02987	5,25657	-22,12895	-0,91318	1,51150	4,00669
3,47382	5,87668	-19,54491	-0,93597	0,67829	4,51252	3,93815	5,39458	-21,71943	-0,91721	1,38012	4,09521
3,37988	5,92982	-19,08584	-0,93944	0,53141	4,59069	3,84603	5,51911	-21,30122	-0,92114	1,24528	4,18208
3,28559	5,96814	-18,61914	-0,94282	0,38319	4,66703	3,75353	5,62984	-20,87449	-0,92499	1,10733	4,26728
3,19098	5,99155	-18,14498	-0,94611	0,23402	4,74151	3,66066	5,72651	-20,43941	-0,92874	0,96662	4,35078
3,09605	5,99997	-17,66358	-0,94930	0,08426	4,81409	3,56742	5,80885	-19,99616	-0,93240	0,82348	4,43253
3,00081	5,99340	-17,17510	-0,95240	-0,06571	4,88474	3,47382	5,87668	-19,54491	-0,93597	0,67829	4,51252

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
2,90527	5,97185	-16,67976	-0,95540	-0,21551	4,95344	3,37988	5,92982	-19,08584	-0,93944	0,53141	4,59069
2,80944	5,93537	-16,17774	-0,95830	-0,36478	5,02015	3,28559	5,96814	-18,61914	-0,94282	0,38319	4,66703
2,71333	5,88406	-15,66926	-0,96111	-0,51313	5,08486	3,19098	5,99155	-18,14498	-0,94611	0,23402	4,74151
2,61695	5,81804	-15,15450	-0,96383	-0,66020	5,14754	3,09605	5,99997	-17,66358	-0,94930	0,08426	4,81409
2,52031	5,73748	-14,63369	-0,96644	-0,80562	5,20815	3,00081	5,99340	-17,17510	-0,95240	-0,06571	4,88474
2,42341	5,64257	-14,10702	-0,96896	-0,94903	5,26668	2,90527	5,97185	-16,67976	-0,95540	-0,21551	4,95344
2,32627	5,53357	-13,57471	-0,97139	-1,09006	5,32311	2,80944	5,93537	-16,17774	-0,95830	-0,36478	5,02015
2,22890	5,41073	-13,03697	-0,97371	-1,22837	5,37741	2,71333	5,88406	-15,66926	-0,96111	-0,51313	5,08486
2,13130	5,27437	-12,49401	-0,97594	-1,36361	5,42955	2,61695	5,81804	-15,15450	-0,96383	-0,66020	5,14754
2,03350	5,12482	-11,94606	-0,97807	-1,49545	5,47953	2,52031	5,73748	-14,63369	-0,96644	-0,80562	5,20815
1,93549	4,96247	-11,39333	-0,98011	-1,62354	5,52731	2,42341	5,64257	-14,10702	-0,96896	-0,94903	5,26668
1,83728	4,78771	-10,83604	-0,98204	-1,74758	5,57288	2,32627	5,53357	-13,57471	-0,97139	-1,09006	5,32311
1,73889	4,60099	-10,27442	-0,98388	-1,86724	5,61623	2,22890	5,41073	-13,03697	-0,97371	-1,22837	5,37741
1,64033	4,40276	-9,70869	-0,98562	-1,98224	5,65732	2,13130	5,27437	-12,49401	-0,97594	-1,36361	5,42955
1,54161	4,19353	-9,13907	-0,98726	-2,09229	5,69616	2,03350	5,12482	-11,94606	-0,97807	-1,49545	5,47953
1,44273	3,97382	-8,56580	-0,98880	-2,19711	5,73271	1,93549	4,96247	-11,39333	-0,98011	-1,62354	5,52731
1,34370	3,74418	-7,98910	-0,99024	-2,29643	5,76697	1,83728	4,78771	-10,83604	-0,98204	-1,74758	5,57288
1,24454	3,50518	-7,40921	-0,99159	-2,39002	5,79893	1,73889	4,60099	-10,27442	-0,98388	-1,86724	5,61623
1,14526	3,25742	-6,82635	-0,99283	-2,47763	5,82856	1,64033	4,40276	-9,70869	-0,98562	-1,98224	5,65732
1,04586	3,00151	-6,24077	-0,99398	-2,55905	5,85587	1,54161	4,19353	-9,13907	-0,98726	-2,09229	5,69616
0,94636	2,73811	-5,65268	-0,99502	-2,63407	5,88083	1,44273	3,97382	-8,56580	-0,98880	-2,19711	5,73271
0,84676	2,46785	-5,06234	-0,99597	-2,70251	5,90344	1,34370	3,74418	-7,98910	-0,99024	-2,29643	5,76697
0,74708	2,19144	-4,46997	-0,99682	-2,76419	5,92369	1,24454	3,50518	-7,40921	-0,99159	-2,39002	5,79893
0,64733	1,90954	-3,87581	-0,99756	-2,81896	5,94157	1,14526	3,25742	-6,82635	-0,99283	-2,47763	5,82856
0,54751	1,62287	-3,28011	-0,99821	-2,86669	5,95707	1,04586	3,00151	-6,24077	-0,99398	-2,55905	5,85587
0,44763	1,33214	-2,68309	-0,99876	-2,90726	5,97019	0,94636	2,73811	-5,65268	-0,99502	-2,63407	5,88083
0,34771	1,03809	-2,08500	-0,99920	-2,94055	5,98092	0,84676	2,46785	-5,06234	-0,99597	-2,70251	5,90344
0,24775	0,74144	-1,48607	-0,99955	-2,96650	5,98926	0,74708	2,19144	-4,46997	-0,99682	-2,76419	5,92369
0,14777	0,44294	-0,88655	-0,99980	-2,98503	5,99521	0,64733	1,90954	-3,87581	-0,99756	-2,81896	5,94157
0,04778	0,14333	-0,28667	-0,99995	-2,99610	5,99875	0,54751	1,62287	-3,28011	-0,99821	-2,86669	5,95707
-0,05222	-0,15664	0,31332	-1,00000	-2,99969	5,99990	0,44763	1,33214	-2,68309	-0,99876	-2,90726	5,97019
-0,15221	-0,45622	0,91318	-0,99994	-2,99577	5,99865	0,34771	1,03809	-2,08500	-0,99920	-2,94055	5,98092
-0,25219	-0,75466	1,51268	-0,99979	-2,98437	5,99499	0,24775	0,74144	-1,48607	-0,99955	-2,96650	5,98926
-0,35215	-1,05121	2,11157	-0,99954	-2,96550	5,98894	0,14777	0,44294	-0,88655	-0,99980	-2,98503	5,99521
-0,45207	-1,34513	2,70962	-0,99919	-2,93923	5,98050	0,04778	0,14333	-0,28667	-0,99995	-2,99610	5,99875
-0,55194	-1,63569	3,30659	-0,99873	-2,90561	5,96966	-0,05222	-0,15664	0,31332	-1,00000	-2,99969	5,99990
-0,65176	-1,92216	3,90223	-0,99818	-2,86473	5,95643	-0,15221	-0,45622	0,91318	-0,99994	-2,99577	5,99865
-0,75151	-2,20383	4,49632	-0,99753	-2,81668	5,94082	-0,25219	-0,75466	1,51268	-0,99979	-2,98437	5,99499
-0,85119	-2,47999	5,08860	-0,99678	-2,76160	5,92284	-0,35215	-1,05121	2,11157	-0,99954	-2,96550	5,98894
-0,95078	-2,74995	5,67885	-0,99593	-2,69961	5,90249	-0,45207	-1,34513	2,70962	-0,99919	-2,93923	5,98050
-1,05028	-3,01304	6,26683	-0,99498	-2,63088	5,87977	-0,55194	-1,63569	3,30659	-0,99873	-2,90561	5,96966
-1,14967	-3,26860	6,85230	-0,99393	-2,55556	5,85471	-0,65176	-1,92216	3,90223	-0,99818	-2,86473	5,95643
-1,24895	-3,51598	7,43503	-0,99278	-2,47387	5,82730	-0,75151	-2,20383	4,49632	-0,99753	-2,81668	5,94082
-1,34810	-3,75458	8,01478	-0,99153	-2,38599	5,79756	-0,85119	-2,47999	5,08860	-0,99678	-2,76160	5,92284

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-1,44712	-3,98380	8,59133	-0,99018	-2,29214	5,76550	-0,95078	-2,74995	5,67885	-0,99593	-2,69961	5,90249
-1,54599	-4,20305	9,16445	-0,98873	-2,19257	5,73114	-1,05028	-3,01304	6,26683	-0,99498	-2,63088	5,87977
-1,64471	-4,41180	9,73389	-0,98719	-2,08751	5,69448	-1,14967	-3,26860	6,85230	-0,99393	-2,55556	5,85471
-1,74327	-4,60953	10,29945	-0,98554	-1,97724	5,65554	-1,24895	-3,51598	7,43503	-0,99278	-2,47387	5,82730
-1,84165	-4,79573	10,86088	-0,98380	-1,86203	5,61435	-1,34810	-3,75458	8,01478	-0,99153	-2,38599	5,79756
-1,93984	-4,96995	11,41797	-0,98196	-1,74216	5,57091	-1,44712	-3,98380	8,59133	-0,99018	-2,29214	5,76550
-2,03785	-5,13174	11,97050	-0,98002	-1,61793	5,52524	-1,54599	-4,20305	9,16445	-0,98873	-2,19257	5,73114
-2,13564	-5,28071	12,51823	-0,97798	-1,48967	5,47736	-1,64471	-4,41180	9,73389	-0,98719	-2,08751	5,69448
-2,23323	-5,41647	13,06096	-0,97584	-1,35768	5,42728	-1,74327	-4,60953	10,29945	-0,98554	-1,97724	5,65554
-2,33059	-5,53870	13,59847	-0,97361	-1,22229	5,37504	-1,84165	-4,79573	10,86088	-0,98380	-1,86203	5,61435
-2,42772	-5,64709	14,13053	-0,97128	-1,08386	5,32065	-1,93984	-4,96995	11,41797	-0,98196	-1,74216	5,57091
-2,52460	-5,74136	14,65694	-0,96885	-0,94271	5,26413	-2,03785	-5,13174	11,97050	-0,98002	-1,61793	5,52524
-2,62124	-5,82128	15,17749	-0,96633	-0,79920	5,20550	-2,13564	-5,28071	12,51823	-0,97798	-1,48967	5,47736
-2,71761	-5,88665	15,69197	-0,96371	-0,65370	5,14480	-2,23323	-5,41647	13,06096	-0,97584	-1,35768	5,42728
-2,81371	-5,93731	16,20018	-0,96099	-0,50657	5,08203	-2,33059	-5,53870	13,59847	-0,97361	-1,22229	5,37504
-2,90952	-5,97312	16,70190	-0,95818	-0,35816	5,01723	-2,42772	-5,64709	14,13053	-0,97128	-1,08386	5,32065
-3,00505	-5,99401	17,19694	-0,95527	-0,20887	4,95043	-2,52460	-5,74136	14,65694	-0,96885	-0,94271	5,26413
-3,10028	-5,99992	17,68511	-0,95226	-0,05905	4,88164	-2,62124	-5,82128	15,17749	-0,96633	-0,79920	5,20550
-3,19519	-5,99082	18,16620	-0,94916	0,09092	4,81090	-2,71761	-5,88665	15,69197	-0,96371	-0,65370	5,14480
-3,28979	-5,96676	18,64002	-0,94597	0,24066	4,73824	-2,81371	-5,93731	16,20018	-0,96099	-0,50657	5,08203
-3,38406	-5,92778	19,10639	-0,94268	0,38980	4,66368	-2,90952	-5,97312	16,70190	-0,95818	-0,35816	5,01723
-3,47799	-5,87398	19,56511	-0,93929	0,53796	4,58726	-3,00505	-5,99401	17,19694	-0,95527	-0,20887	4,95043
-3,57157	-5,80550	20,01601	-0,93581	0,68478	4,50900	-3,10028	-5,99992	17,68511	-0,95226	-0,05905	4,88164
-3,66479	-5,72252	20,45891	-0,93224	0,82989	4,42894	-3,19519	-5,99082	18,16620	-0,94916	0,09092	4,81090
-3,75765	-5,62522	20,89362	-0,92858	0,97292	4,34711	-3,28979	-5,96676	18,64002	-0,94597	0,24066	4,73824
-3,85013	-5,51387	21,31997	-0,92482	1,11352	4,26354	-3,38406	-5,92778	19,10639	-0,94268	0,38980	4,66368
-3,94223	-5,38874	21,73780	-0,92097	1,25134	4,17826	-3,47799	-5,87398	19,56511	-0,93929	0,53796	4,58726
-4,03393	-5,25014	22,14693	-0,91703	1,38603	4,09131	-3,57157	-5,80550	20,01601	-0,93581	0,68478	4,50900
-4,12523	-5,09841	22,54720	-0,91299	1,51725	4,00273	-3,66479	-5,72252	20,45891	-0,93224	0,82989	4,42894
-4,21612	-4,93394	22,93846	-0,90887	1,64469	3,91254	-3,75765	-5,62522	20,89362	-0,92858	0,97292	4,34711
-4,30658	-4,75714	23,32054	-0,90465	1,76801	3,82079	-3,85013	-5,51387	21,31997	-0,92482	1,11352	4,26354
-4,39662	-4,56845	23,69329	-0,90035	1,88691	3,72751	-3,94223	-5,38874	21,73780	-0,92097	1,25134	4,17826
-4,48621	-4,36834	24,05656	-0,89595	2,00110	3,63274	-4,03393	-5,25014	22,14693	-0,91703	1,38603	4,09131
-4,57536	-4,15731	24,41021	-0,89146	2,11029	3,53652	-4,12523	-5,09841	22,54720	-0,91299	1,51725	4,00273
-4,66405	-3,93589	24,75410	-0,88689	2,21420	3,43888	-4,21612	-4,93394	22,93846	-0,90887	1,64469	3,91254
-4,75227	-3,70463	25,08809	-0,88222	2,31258	3,33987	-4,30658	-4,75714	23,32054	-0,90465	1,76801	3,82079
-4,84002	-3,46412	25,41204	-0,87747	2,40517	3,23952	-4,39662	-4,56845	23,69329	-0,90035	1,88691	3,72751
-4,92728	-3,21494	25,72583	-0,87263	2,49176	3,13787	-4,48621	-4,36834	24,05656	-0,89595	2,00110	3,63274
-5,01405	-2,95773	26,02932	-0,86771	2,57211	3,03497	-4,57536	-4,15731	24,41021	-0,89146	2,11029	3,53652
-5,10032	-2,69312	26,32241	-0,86269	2,64604	2,93086	-4,66405	-3,93589	24,75410	-0,88689	2,21420	3,43888
-5,18608	-2,42179	26,60497	-0,85759	2,71336	2,82557	-4,75227	-3,70463	25,08809	-0,88222	2,31258	3,33987
-5,27132	-2,14440	26,87688	-0,85240	2,77389	2,71916	-4,84002	-3,46412	25,41204	-0,87747	2,40517	3,23952
-5,35603	-1,86165	27,13805	-0,84713	2,82749	2,61165	-4,92728	-3,21494	25,72583	-0,87263	2,49176	3,13787
-5,44021	-1,57425	27,38836	-0,84178	2,87402	2,50310	-5,01405	-2,95773	26,02932	-0,86771	2,57211	3,03497

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-5,52384	-1,28291	27,62771	-0,83634	2,91337	2,39355	-5,10032	-2,69312	26,32241	-0,86269	2,64604	2,93086
-5,60693	-0,98837	27,85602	-0,83081	2,94543	2,28305	-5,18608	-2,42179	26,60497	-0,85759	2,71336	2,82557
-5,68945	-0,69136	28,07318	-0,82521	2,97014	2,17163	-5,27132	-2,14440	26,87688	-0,85240	2,77389	2,71916
-5,77140	-0,39261	28,27911	-0,81952	2,98742	2,05934	-5,35603	-1,86165	27,13805	-0,84713	2,82749	2,61165
-5,85277	-0,09289	28,47374	-0,81375	2,99723	1,94623	-5,44021	-1,57425	27,38836	-0,84178	2,87402	2,50310
-5,93356	0,20706	28,65697	-0,80789	2,99955	1,83233	-5,52384	-1,28291	27,62771	-0,83634	2,91337	2,39355
-6,01376	0,50650	28,82874	-0,80196	2,99438	1,71771	-5,60693	-0,98837	27,85602	-0,83081	2,94543	2,28305
-6,09335	0,80467	28,98898	-0,79595	2,98172	1,60240	-5,68945	-0,69136	28,07318	-0,82521	2,97014	2,17163
-6,17234	1,10083	29,13763	-0,78985	2,96160	1,48645	-5,77140	-0,39261	28,27911	-0,81952	2,98742	2,05934
-6,25071	1,39424	29,27462	-0,78368	2,93409	1,36990	-5,85277	-0,09289	28,47374	-0,81375	2,99723	1,94623
-6,32845	1,68417	29,39990	-0,77743	2,89924	1,25281	-5,93356	0,20706	28,65697	-0,80789	2,99955	1,83233
-6,40556	1,96988	29,51342	-0,77110	2,85714	1,13521	-6,01376	0,50650	28,82874	-0,80196	2,99438	1,71771
-6,48203	2,25067	29,61513	-0,76470	2,80791	1,01716	-6,09335	0,80467	28,98898	-0,79595	2,98172	1,60240
-6,55785	2,52584	29,70500	-0,75821	2,75165	0,89870	-6,17234	1,10083	29,13763	-0,78985	2,96160	1,48645
-6,63302	2,79469	29,78299	-0,75166	2,68852	0,77989	-6,25071	1,39424	29,27462	-0,78368	2,93409	1,36990
-6,70752	3,05656	29,84907	-0,74502	2,61867	0,66076	-6,32845	1,68417	29,39990	-0,77743	2,89924	1,25281
-6,78135	3,31078	29,90320	-0,73832	2,54227	0,54137	-6,40556	1,96988	29,51342	-0,77110	2,85714	1,13521
-6,85450	3,55673	29,94538	-0,73153	2,45952	0,42176	-6,48203	2,25067	29,61513	-0,76470	2,80791	1,01716
-6,92697	3,79380	29,97558	-0,72468	2,37062	0,30198	-6,55785	2,52584	29,70500	-0,75821	2,75165	0,89870
-6,99875	4,02138	29,99379	-0,71775	2,27579	0,18208	-6,63302	2,79469	29,78299	-0,75166	2,68852	0,77989
-7,06982	4,23890	30,00000	-0,71075	2,17528	0,06211	-6,70752	3,05656	29,84907	-0,74502	2,61867	0,66076
-7,14019	4,44584	29,99421	-0,70368	2,06933	-0,05788	-6,78135	3,31078	29,90320	-0,73832	2,54227	0,54137
-7,20985	4,64166	29,97642	-0,69654	1,95821	-0,17786	-6,85450	3,55673	29,94538	-0,73153	2,45952	0,42176
-7,27878	4,82587	29,94665	-0,68933	1,84219	-0,29776	-6,92697	3,79380	29,97558	-0,72468	2,37062	0,30198
-7,34698	4,99803	29,90489	-0,68206	1,72157	-0,41754	-6,99875	4,02138	29,99379	-0,71775	2,27579	0,18208
-7,41446	5,15770	29,85118	-0,67471	1,59664	-0,53716	-7,06982	4,23890	30,00000	-0,71075	2,17528	0,06211
-7,48118	5,30447	29,78552	-0,66729	1,46773	-0,65656	-7,14019	4,44584	29,99421	-0,70368	2,06933	-0,05788
-7,54717	5,43798	29,70795	-0,65981	1,33514	-0,77570	-7,20985	4,64166	29,97642	-0,69654	1,95821	-0,17786
-7,61239	5,55790	29,61850	-0,65227	1,19922	-0,89452	-7,27878	4,82587	29,94665	-0,68933	1,84219	-0,29776
-7,67686	5,66393	29,51720	-0,64465	1,06030	-1,01299	-7,34698	4,99803	29,90489	-0,68206	1,72157	-0,41754
-7,74056	5,75581	29,40409	-0,63698	0,91873	-1,13106	-7,41446	5,15770	29,85118	-0,67471	1,59664	-0,53716
-7,80348	5,83329	29,27923	-0,62924	0,77487	-1,24867	-7,48118	5,30447	29,78552	-0,66729	1,46773	-0,65656
-7,86562	5,89620	29,14265	-0,62143	0,62907	-1,36578	-7,54717	5,43798	29,70795	-0,65981	1,33514	-0,77570
-7,92698	5,94437	28,99441	-0,61357	0,48169	-1,48235	-7,61239	5,55790	29,61850	-0,65227	1,19922	-0,89452
-7,98754	5,97768	28,83458	-0,60564	0,33311	-1,59832	-7,67686	5,66393	29,51720	-0,64465	1,06030	-1,01299
-8,04731	5,99605	28,66322	-0,59765	0,18370	-1,71366	-7,74056	5,75581	29,40409	-0,63698	0,91873	-1,13106
-8,10627	5,99944	28,48038	-0,58961	0,03383	-1,82831	-7,80348	5,83329	29,27923	-0,62924	0,77487	-1,24867
-8,16442	5,98782	28,28616	-0,58150	-0,11612	-1,94223	-7,86562	5,89620	29,14265	-0,62143	0,62907	-1,36578
-8,22175	5,96124	28,08063	-0,57334	-0,26579	-2,05537	-7,92698	5,94437	28,99441	-0,61357	0,48169	-1,48235
-8,27826	5,91977	27,86386	-0,56511	-0,41479	-2,16769	-7,98754	5,97768	28,83458	-0,60564	0,33311	-1,59832
-8,33395	5,86349	27,63594	-0,55684	-0,56275	-2,27914	-8,04731	5,99605	28,66322	-0,59765	0,18370	-1,71366
-8,38880	5,79256	27,39698	-0,54850	-0,70931	-2,38968	-8,10627	5,99944	28,48038	-0,58961	0,03383	-1,82831
-8,44281	5,70715	27,14705	-0,54011	-0,85409	-2,49926	-8,16442	5,98782	28,28616	-0,58150	-0,11612	-1,94223
-8,49598	5,60748	26,88626	-0,53167	-0,99674	-2,60785	-8,22175	5,96124	28,08063	-0,57334	-0,26579	-2,05537

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-8,54829	5,49379	26,61473	-0,52317	-1,13690	-2,71539	-8,27826	5,91977	27,86386	-0,56511	-0,41479	-2,16769
-8,59976	5,36637	26,33254	-0,51463	-1,27421	-2,82184	-8,33395	5,86349	27,63594	-0,55684	-0,56275	-2,27914
-8,65036	5,22553	26,03982	-0,50603	-1,40834	-2,92717	-8,38880	5,79256	27,39698	-0,54850	-0,70931	-2,38968
-8,70010	5,07164	25,73669	-0,49738	-1,53896	-3,03133	-8,44281	5,70715	27,14705	-0,54011	-0,85409	-2,49926
-8,74896	4,90506	25,42327	-0,48868	-1,66572	-3,13427	-8,49598	5,60748	26,88626	-0,53167	-0,99674	-2,60785
-8,79696	4,72623	25,09967	-0,47993	-1,78832	-3,23596	-8,54829	5,49379	26,61473	-0,52317	-1,13690	-2,71539
-8,84407	4,53559	24,76603	-0,47113	-1,90645	-3,33635	-8,59976	5,36637	26,33254	-0,51463	-1,27421	-2,82184
-8,89030	4,33360	24,42249	-0,46229	-2,01982	-3,43541	-8,65036	5,22553	26,03982	-0,50603	-1,40834	-2,92717
-8,93564	4,12079	24,06918	-0,45340	-2,12814	-3,53310	-8,70010	5,07164	25,73669	-0,49738	-1,53896	-3,03133
-8,98009	3,89768	23,70624	-0,44446	-2,23113	-3,62938	-8,74896	4,90506	25,42327	-0,48868	-1,66572	-3,13427
-9,02363	3,66482	23,33382	-0,43548	-2,32856	-3,72420	-8,79696	4,72623	25,09967	-0,47993	-1,78832	-3,23596
-9,06628	3,42281	22,95207	-0,42646	-2,42016	-3,81753	-8,84407	4,53559	24,76603	-0,47113	-1,90645	-3,33635
-9,10802	3,17223	22,56114	-0,41739	-2,50571	-3,90933	-8,89030	4,33360	24,42249	-0,46229	-2,01982	-3,43541
-9,14885	2,91373	22,16118	-0,40828	-2,58500	-3,99958	-8,93564	4,12079	24,06918	-0,45340	-2,12814	-3,53310
-9,18876	2,64795	21,75236	-0,39913	-2,65783	-4,08822	-8,98009	3,89768	23,70624	-0,44446	-2,23113	-3,62938
-9,22775	2,37555	21,33484	-0,38995	-2,72401	-4,17522	-9,02363	3,66482	23,33382	-0,43548	-2,32856	-3,72420
-9,26583	2,09721	20,90878	-0,38072	-2,78339	-4,26056	-9,06628	3,42281	22,95207	-0,42646	-2,42016	-3,81753
-9,30297	1,81363	20,47436	-0,37145	-2,83581	-4,34419	-9,10802	3,17223	22,56114	-0,41739	-2,50571	-3,90933
-9,33919	1,52552	20,03175	-0,36215	-2,88114	-4,42609	-9,14885	2,91373	22,16118	-0,40828	-2,58500	-3,99958
-9,37447	1,23359	19,58113	-0,35281	-2,91927	-4,50621	-9,18876	2,64795	21,75236	-0,39913	-2,65783	-4,08822
-9,40881	0,93858	19,12268	-0,34344	-2,95010	-4,58453	-9,22775	2,37555	21,33484	-0,38995	-2,72401	-4,17522
-9,44221	0,64122	18,65658	-0,33403	-2,97356	-4,66102	-9,26583	2,09721	20,90878	-0,38072	-2,78339	-4,26056
-9,47467	0,34226	18,18301	-0,32458	-2,98959	-4,73565	-9,30297	1,81363	20,47436	-0,37145	-2,83581	-4,34419
-9,50618	0,04245	17,70217	-0,31511	-2,99814	-4,80838	-9,33919	1,52552	20,03175	-0,36215	-2,88114	-4,42609
-9,53674	-0,25747	17,21426	-0,30560	-2,99921	-4,87918	-9,37447	1,23359	19,58113	-0,35281	-2,91927	-4,50621
-9,56635	-0,55675	16,71945	-0,29607	-2,99277	-4,94804	-9,40881	0,93858	19,12268	-0,34344	-2,95010	-4,58453
-9,59500	-0,85463	16,21796	-0,28650	-2,97885	-5,01491	-9,44221	0,64122	18,65658	-0,33403	-2,97356	-4,66102
-9,62269	-1,15038	15,70998	-0,27691	-2,95749	-5,07978	-9,47467	0,34226	18,18301	-0,32458	-2,98959	-4,73565
-9,64942	-1,44326	15,19572	-0,26728	-2,92874	-5,14262	-9,50618	0,04245	17,70217	-0,31511	-2,99814	-4,80838
-9,67518	-1,73252	14,67538	-0,25763	-2,89267	-5,20340	-9,53674	-0,25747	17,21426	-0,30560	-2,99921	-4,87918
-9,69998	-2,01746	14,14917	-0,24796	-2,84936	-5,26210	-9,56635	-0,55675	16,71945	-0,29607	-2,99277	-4,94804
-9,72380	-2,29735	13,61730	-0,23826	-2,79894	-5,31870	-9,59500	-0,85463	16,21796	-0,28650	-2,97885	-5,01491
-9,74666	-2,57150	13,07998	-0,22854	-2,74151	-5,37316	-9,62269	-1,15038	15,70998	-0,27691	-2,95749	-5,07978
-9,76854	-2,83923	12,53744	-0,21879	-2,67724	-5,42548	-9,64942	-1,44326	15,19572	-0,26728	-2,92874	-5,14262
-9,78944	-3,09985	11,98987	-0,20902	-2,60627	-5,47563	-9,67518	-1,73252	14,67538	-0,25763	-2,89267	-5,20340
-9,80936	-3,35273	11,43751	-0,19923	-2,52879	-5,52359	-9,69998	-2,01746	14,14917	-0,24796	-2,84936	-5,26210
-9,82830	-3,59723	10,88058	-0,18942	-2,44499	-5,56934	-9,72380	-2,29735	13,61730	-0,23826	-2,79894	-5,31870
-9,84626	-3,83274	10,31930	-0,17959	-2,35508	-5,61286	-9,74666	-2,57150	13,07998	-0,22854	-2,74151	-5,37316
-9,86324	-4,05867	9,75388	-0,16975	-2,25928	-5,65413	-9,76854	-2,83923	12,53744	-0,21879	-2,67724	-5,42548
-9,87923	-4,27445	9,18457	-0,15988	-2,15784	-5,69315	-9,78944	-3,09985	11,98987	-0,20902	-2,60627	-5,47563
-9,89423	-4,47955	8,61158	-0,15001	-2,05100	-5,72988	-9,80936	-3,35273	11,43751	-0,19923	-2,52879	-5,52359
-9,90824	-4,67346	8,03515	-0,14011	-1,93903	-5,76433	-9,82830	-3,59723	10,88058	-0,18942	-2,44499	-5,56934
-9,92126	-4,85568	7,45550	-0,13020	-1,82222	-5,79647	-9,84626	-3,83274	10,31930	-0,17959	-2,35508	-5,61286
-9,93329	-5,02576	6,87287	-0,12028	-1,70085	-5,82629	-9,86324	-4,05867	9,75388	-0,16975	-2,25928	-5,65413

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-9,94432	-5,18329	6,28749	-0,11035	-1,57524	-5,85378	-9,87923	-4,27445	9,18457	-0,15988	-2,15784	-5,69315
-9,95436	-5,32786	5,69960	-0,10040	-1,44568	-5,87893	-9,89423	-4,47955	8,61158	-0,15001	-2,05100	-5,72988
-9,96341	-5,45911	5,10943	-0,09045	-1,31251	-5,90173	-9,90824	-4,67346	8,03515	-0,14011	-1,93903	-5,76433
-9,97146	-5,57671	4,51721	-0,08049	-1,17606	-5,92216	-9,92126	-4,85568	7,45550	-0,13020	-1,82222	-5,79647
-9,97851	-5,68038	3,92319	-0,07052	-1,03667	-5,94023	-9,93329	-5,02576	6,87287	-0,12028	-1,70085	-5,82629
-9,98456	-5,76985	3,32760	-0,06054	-0,89469	-5,95592	-9,94432	-5,18329	6,28749	-0,11035	-1,57524	-5,85378
-9,98962	-5,84490	2,73067	-0,05055	-0,75048	-5,96923	-9,95436	-5,32786	5,69960	-0,10040	-1,44568	-5,87893
-9,99367	-5,90534	2,13266	-0,04056	-0,60439	-5,98016	-9,96341	-5,45911	5,10943	-0,09045	-1,31251	-5,90173
-9,99673	-5,95101	1,53379	-0,03057	-0,45678	-5,98869	-9,97146	-5,57671	4,51721	-0,08049	-1,17606	-5,92216
-9,99879	-5,98182	0,93431	-0,02057	-0,30804	-5,99482	-9,97851	-5,68038	3,92319	-0,07052	-1,03667	-5,94023
-9,99984	-5,99767	0,33445	-0,01057	-0,15852	-5,99856	-9,98456	-5,76985	3,32760	-0,06054	-0,89469	-5,95592
-9,99990	-5,99853	-0,26554	-0,00057	-0,00861	-5,99990	-9,98962	-5,84490	2,73067	-0,05055	-0,75048	-5,96923
-9,99896	-5,98440	-0,86542	0,00943	0,14132	-5,99883	-9,99367	-5,90534	2,13266	-0,04056	-0,60439	-5,98016
-9,99702	-5,95531	-1,46496	0,01942	0,29090	-5,99537	-9,99673	-5,95101	1,53379	-0,03057	-0,45678	-5,98869
-9,99407	-5,91133	-2,06391	0,02942	0,43975	-5,98951	-9,99879	-5,98182	0,93431	-0,02057	-0,30804	-5,99482
-9,99013	-5,85258	-2,66204	0,03942	0,58750	-5,98126	-9,99984	-5,99767	0,33445	-0,01057	-0,15852	-5,99856
-9,98519	-5,77921	-3,25910	0,04941	0,73379	-5,97061	-9,99990	-5,99853	-0,26554	-0,00057	-0,00861	-5,99990
-9,97925	-5,69138	-3,85486	0,05939	0,87824	-5,95757	-9,99896	-5,98440	-0,86542	0,00943	0,14132	-5,99883
-9,97232	-5,58933	-4,44907	0,06937	1,02049	-5,94215	-9,99702	-5,95531	-1,46496	0,01942	0,29090	-5,99537
-9,96438	-5,47331	-5,04151	0,07934	1,16020	-5,92436	-9,99407	-5,91133	-2,06391	0,02942	0,43975	-5,98951
-9,95545	-5,34361	-5,63193	0,08931	1,29700	-5,90419	-9,99013	-5,85258	-2,66204	0,03942	0,58750	-5,98126
-9,94553	-5,20056	-6,22009	0,09926	1,43056	-5,88167	-9,98519	-5,77921	-3,25910	0,04941	0,73379	-5,97061
-9,93461	-5,04450	-6,80577	0,10921	1,56055	-5,85679	-9,97925	-5,69138	-3,85486	0,05939	0,87824	-5,95757
-9,92269	-4,87584	-7,38873	0,11914	1,68664	-5,82956	-9,97232	-5,58933	-4,44907	0,06937	1,02049	-5,94215
-9,90978	-4,69499	-7,96873	0,12906	1,80851	-5,80001	-9,96438	-5,47331	-5,04151	0,07934	1,16020	-5,92436
-9,89589	-4,50240	-8,54554	0,13897	1,92586	-5,76814	-9,95545	-5,34361	-5,63193	0,08931	1,29700	-5,90419
-9,88100	-4,29856	-9,11894	0,14887	2,03839	-5,73396	-9,94553	-5,20056	-6,22009	0,09926	1,43056	-5,88167
-9,86513	-4,08398	-9,68869	0,15875	2,14583	-5,69748	-9,93461	-5,04450	-6,80577	0,10921	1,56055	-5,85679
-9,84826	-3,85919	-10,25456	0,16862	2,24791	-5,65873	-9,92269	-4,87584	-7,38873	0,11914	1,68664	-5,82956
-9,83042	-3,62475	-10,81633	0,17846	2,34437	-5,61771	-9,90978	-4,69499	-7,96873	0,12906	1,80851	-5,80001
-9,81159	-3,38125	-11,37378	0,18829	2,43497	-5,57445	-9,89589	-4,50240	-8,54554	0,13897	1,92586	-5,76814
-9,79178	-3,12931	-11,92667	0,19811	2,51949	-5,52895	-9,88100	-4,29856	-9,11894	0,14887	2,03839	-5,73396
-9,77099	-2,86954	-12,47480	0,20790	2,59770	-5,48125	-9,86513	-4,08398	-9,68869	0,15875	2,14583	-5,69748
-9,74922	-2,60259	-13,01793	0,21767	2,66943	-5,43135	-9,84826	-3,85919	-10,25456	0,16862	2,24791	-5,65873
-9,72648	-2,32915	-13,55586	0,22742	2,73448	-5,37928	-9,83042	-3,62475	-10,81633	0,17846	2,34437	-5,61771
-9,70276	-2,04988	-14,08836	0,23714	2,79269	-5,32506	-9,81159	-3,38125	-11,37378	0,18829	2,43497	-5,57445
-9,67808	-1,76548	-14,61524	0,24685	2,84393	-5,26871	-9,79178	-3,12931	-11,92667	0,19811	2,51949	-5,52895
-9,65243	-1,47668	-15,13626	0,25652	2,88806	-5,21025	-9,77099	-2,86954	-12,47480	0,20790	2,59770	-5,48125
-9,62581	-1,18418	-15,65123	0,26618	2,92497	-5,14971	-9,74922	-2,60259	-13,01793	0,21767	2,66943	-5,43135
-9,59823	-0,88872	-16,15994	0,27580	2,95457	-5,08710	-9,72648	-2,32915	-13,55586	0,22742	2,73448	-5,37928
-9,56969	-0,59105	-16,66219	0,28540	2,97678	-5,02247	-9,70276	-2,04988	-14,08836	0,23714	2,79269	-5,32506
-9,54019	-0,29189	-17,15777	0,29497	2,99155	-4,95582	-9,67808	-1,76548	-14,61524	0,24685	2,84393	-5,26871
-9,50974	0,00799	-17,64649	0,30451	2,99885	-4,88719	-9,65243	-1,47668	-15,13626	0,25652	2,88806	-5,21025
-9,47834	0,30786	-18,12815	0,31402	2,99865	-4,81661	-9,62581	-1,18418	-15,65123	0,26618	2,92497	-5,14971

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-9,44599	0,60695	-18,60256	0,32350	2,99095	-4,74410	-9,59823	-0,88872	-16,15994	0,27580	2,95457	-5,08710
-9,41270	0,90453	-19,06953	0,33294	2,97578	-4,66969	-9,56969	-0,59105	-16,66219	0,28540	2,97678	-5,02247
-9,37846	1,19985	-19,52887	0,34236	2,95317	-4,59341	-9,54019	-0,29189	-17,15777	0,29497	2,99155	-4,95582
-9,34329	1,49217	-19,98040	0,35174	2,92318	-4,51530	-9,50974	0,00799	-17,64649	0,30451	2,99885	-4,88719
-9,30718	1,78076	-20,42394	0,36108	2,88589	-4,43538	-9,47834	0,30786	-18,12815	0,31402	2,99865	-4,81661
-9,27014	2,06489	-20,85931	0,37039	2,84138	-4,35369	-9,44599	0,60695	-18,60256	0,32350	2,99095	-4,74410
-9,23217	2,34387	-21,28633	0,37966	2,78977	-4,27025	-9,41270	0,90453	-19,06953	0,33294	2,97578	-4,66969
-9,19329	2,61699	-21,70484	0,38889	2,73118	-4,18511	-9,37846	1,19985	-19,52887	0,34236	2,95317	-4,59341
-9,15348	2,88357	-22,11467	0,39808	2,66577	-4,09829	-9,34329	1,49217	-19,98040	0,35174	2,92318	-4,51530
-9,11275	3,14294	-22,51566	0,40723	2,59370	-4,00984	-9,30718	1,78076	-20,42394	0,36108	2,88589	-4,43538
-9,07112	3,39445	-22,90763	0,41635	2,51514	-3,91978	-9,27014	2,06489	-20,85931	0,37039	2,84138	-4,35369
-9,02858	3,63748	-23,29045	0,42542	2,43030	-3,82815	-9,23217	2,34387	-21,28633	0,37966	2,78977	-4,27025
-8,98513	3,87142	-23,66395	0,43445	2,33938	-3,73499	-9,19329	2,61699	-21,70484	0,38889	2,73118	-4,18511
-8,94079	4,09568	-24,02798	0,44343	2,24261	-3,64034	-9,15348	2,88357	-22,11467	0,39808	2,66577	-4,09829
-8,89555	4,30970	-24,38241	0,45237	2,14024	-3,54423	-9,11275	3,14294	-22,51566	0,40723	2,59370	-4,00984
-8,84943	4,51295	-24,72708	0,46127	2,03252	-3,44671	-9,07112	3,39445	-22,90763	0,41635	2,51514	-3,91978
-8,80241	4,70493	-25,06186	0,47012	1,91972	-3,34780	-9,02858	3,63748	-23,29045	0,42542	2,43030	-3,82815
-8,75452	4,88514	-25,38661	0,47892	1,80212	-3,24756	-8,98513	3,87142	-23,66395	0,43445	2,33938	-3,73499
-8,70575	5,05314	-25,70121	0,48767	1,68002	-3,14601	-8,94079	4,09568	-24,02798	0,44343	2,24261	-3,64034
-8,65612	5,20851	-26,00553	0,49638	1,55372	-3,04321	-8,89555	4,30970	-24,38241	0,45237	2,14024	-3,54423
-8,60561	5,35087	-26,29945	0,50504	1,42353	-2,93919	-8,84943	4,51295	-24,72708	0,46127	2,03252	-3,44671
-8,55425	5,47984	-26,58285	0,51364	1,28979	-2,83400	-8,80241	4,70493	-25,06186	0,47012	1,91972	-3,34780
-8,50203	5,59513	-26,85562	0,52220	1,15282	-2,72767	-8,75452	4,88514	-25,38661	0,47892	1,80212	-3,24756
-8,44896	5,69642	-27,11765	0,53070	1,01297	-2,62025	-8,70575	5,05314	-25,70121	0,48767	1,68002	-3,14601
-8,39504	5,78348	-27,36882	0,53915	0,87059	-2,51179	-8,65612	5,20851	-26,00553	0,49638	1,55372	-3,04321
-8,34029	5,85609	-27,60906	0,54754	0,72603	-2,40231	-8,60561	5,35087	-26,29945	0,50504	1,42353	-2,93919
-8,28470	5,91405	-27,83824	0,55588	0,57966	-2,29188	-8,55425	5,47984	-26,58285	0,51364	1,28979	-2,83400
-8,22829	5,95724	-28,05630	0,56417	0,43184	-2,18053	-8,50203	5,59513	-26,85562	0,52220	1,15282	-2,72767
-8,17105	5,98553	-28,26313	0,57239	0,28294	-2,06831	-8,44896	5,69642	-27,11765	0,53070	1,01297	-2,62025
-8,11299	5,99886	-28,45865	0,58057	0,13333	-1,95526	-8,39504	5,78348	-27,36882	0,53915	0,87059	-2,51179
-8,05412	5,99720	-28,64280	0,58868	-0,01661	-1,84143	-8,34029	5,85609	-27,60906	0,54754	0,72603	-2,40231
-7,99445	5,98055	-28,81548	0,59673	-0,16650	-1,72686	-8,28470	5,91405	-27,83824	0,55588	0,57966	-2,29188
-7,93398	5,94895	-28,97664	0,60473	-0,31599	-1,61161	-8,22829	5,95724	-28,05630	0,56417	0,43184	-2,18053
-7,87271	5,90249	-29,12621	0,61266	-0,46468	-1,49570	-8,17105	5,98553	-28,26313	0,57239	0,28294	-2,06831
-7,81066	5,84126	-29,26414	0,62053	-0,61221	-1,37920	-8,11299	5,99886	-28,45865	0,58057	0,13333	-1,95526
-7,74782	5,76544	-29,39035	0,62834	-0,75821	-1,26215	-8,05412	5,99720	-28,64280	0,58868	-0,01661	-1,84143
-7,68421	5,67521	-29,50481	0,63609	-0,90232	-1,14459	-7,99445	5,98055	-28,81548	0,59673	-0,16650	-1,72686
-7,61984	5,57079	-29,60747	0,64378	-1,04417	-1,02658	-7,93398	5,94895	-28,97664	0,60473	-0,31599	-1,61161
-7,55470	5,45245	-29,69828	0,65140	-1,18341	-0,90815	-7,87271	5,90249	-29,12621	0,61266	-0,46468	-1,49570
-7,48880	5,32048	-29,77722	0,65895	-1,31969	-0,78936	-7,81066	5,84126	-29,26414	0,62053	-0,61221	-1,37920
-7,42216	5,17522	-29,84424	0,66644	-1,45268	-0,67026	-7,74782	5,76544	-29,39035	0,62834	-0,75821	-1,26215
-7,35477	5,01701	-29,89933	0,67386	-1,58203	-0,55088	-7,68421	5,67521	-29,50481	0,63609	-0,90232	-1,14459
-7,28665	4,84627	-29,94246	0,68122	-1,70743	-0,43129	-7,61984	5,57079	-29,60747	0,64378	-1,04417	-1,02658
-7,21780	4,66341	-29,97361	0,68850	-1,82856	-0,31152	-7,55470	5,45245	-29,69828	0,65140	-1,18341	-0,90815

ϕ	θ	z	$d\phi/dt$	$d\theta/dt$	Dz/dt	$\phi(t-1)$	$\theta(t-1)$	$z(t-1)$	$d\phi/dt(t-1)$	$d\theta/dt(t-1)$	$Dz/dt(t-1)$
-7,14823	4,46890	-29,99278	0,69572	-1,94512	-0,19163	-7,48880	5,32048	-29,77722	0,65895	-1,31969	-0,78936
-7,07794	4,26322	-29,99994	0,70287	-2,05682	-0,07167	-7,42216	5,17522	-29,84424	0,66644	-1,45268	-0,67026
-7,00695	4,04688	-29,99511	0,70995	-2,16338	0,04833	-7,35477	5,01701	-29,89933	0,67386	-1,58203	-0,55088
-6,93525	3,82043	-29,97828	0,71695	-2,26453	0,16831	-7,28665	4,84627	-29,94246	0,68122	-1,70743	-0,43129
-6,86286	3,58443	-29,94946	0,72389	-2,36002	0,28821	-7,21780	4,66341	-29,97361	0,68850	-1,82856	-0,31152
-6,78979	3,33946	-29,90866	0,73075	-2,44961	0,40801	-7,14823	4,46890	-29,99278	0,69572	-1,94512	-0,19163
-6,71603	3,08616	-29,85589	0,73754	-2,53308	0,52764	-7,07794	4,26322	-29,99994	0,70287	-2,05682	-0,07167
-6,64161	2,82513	-29,79119	0,74426	-2,61022	0,64706	-7,00695	4,04688	-29,99511	0,70995	-2,16338	0,04833
-6,56652	2,55705	-29,71457	0,75090	-2,68083	0,76622	-6,93525	3,82043	-29,97828	0,71695	-2,26453	0,16831
-6,49077	2,28258	-29,62606	0,75746	-2,74475	0,88507	-6,86286	3,58443	-29,94946	0,72389	-2,36002	0,28821
-6,41438	2,00240	-29,52570	0,76396	-2,80180	1,00357	-6,78979	3,33946	-29,90866	0,73075	-2,44961	0,40801
-6,33734	1,71721	-29,41353	0,77037	-2,85185	1,12167	-6,71603	3,08616	-29,85589	0,73754	-2,53308	0,52764
-6,25967	1,42773	-29,28960	0,77671	-2,89477	1,23932	-6,64161	2,82513	-29,79119	0,74426	-2,61022	0,64706
-6,18137	1,13469	-29,15395	0,78297	-2,93046	1,35648	-6,56652	2,55705	-29,71457	0,75090	-2,68083	0,76622
-6,10246	0,83881	-29,00664	0,78915	-2,95882	1,47309	-6,49077	2,28258	-29,62606	0,75746	-2,74475	0,88507
-6,02293	0,54083	-28,84773	0,79525	-2,97978	1,58911	-6,41438	2,00240	-29,52570	0,76396	-2,80180	1,00357
-5,94280	0,24150	-28,67728	0,80127	-2,99330	1,70450	-6,33734	1,71721	-29,41353	0,77037	-2,85185	1,12167
-5,86208	-0,05844	-28,49536	0,80722	-2,99934	1,81920	-6,25967	1,42773	-29,28960	0,77671	-2,89477	1,23932
-5,78077	-0,35822	-28,30204	0,81308	-2,99788	1,93318	-6,18137	1,13469	-29,15395	0,78297	-2,93046	1,35648
-5,69889	-0,65712	-28,09741	0,81886	-2,98892	2,04639	-6,10246	0,83881	-29,00664	0,78915	-2,95882	1,47309
-5,61643	-0,95437	-27,88153	0,82456	-2,97250	2,15877	-6,02293	0,54083	-28,84773	0,79525	-2,97978	1,58911
-5,53342	-1,24923	-27,65450	0,83017	-2,94865	2,27030	-5,94280	0,24150	-28,67728	0,80127	-2,99330	1,70450
-5,44984	-1,54097	-27,41641	0,83571	-2,91742	2,38091	-5,86208	-0,05844	-28,49536	0,80722	-2,99934	1,81920
-5,36573	-1,82886	-27,16735	0,84116	-2,87890	2,49057	-5,78077	-0,35822	-28,30204	0,81308	-2,99788	1,93318

Từ bảng dữ liệu này ta copy vào Excel sau đó đổi cột thành hàng bằng lệnh Paste Special (tích vào Transpose) rồi tiếp tục copy dữ liệu này vào bảng INPUT của Workspace của Matlab.

Phụ lục 2: Bảng dữ liệu đầu ra để huấn luyện mạng

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
0	0	0
0,000125	4,87E-05	-0,00011
0,000749	0,000292	-0,00067
0,003868	0,001509	-0,00344
0,019463	0,007595	-0,0173
0,097437	0,038022	-0,08663
0,487291	0,190136	-0,43324
1,028877	0,401336	-0,91457
2,056606	0,801277	-1,82668
3,082041	1,198433	-2,73388
4,104033	1,591419	-3,63372
5,121435	1,978858	-4,52377
6,133101	2,359389	-5,40156
7,137883	2,731664	-6,26468
8,134637	3,094356	-7,11071
9,122219	3,446158	-7,93723
10,09948	3,78579	-8,74187
11,0653	4,112001	-9,52225
12,01851	4,423569	-10,276
12,95801	4,719311	-11,0009
13,88265	4,998078	-11,6947
14,79131	5,258764	-12,355
15,68289	5,500308	-12,9799
16,55628	5,721695	-13,5671
17,4104	5,921959	-14,1147
18,24416	6,100189	-14,6208
19,05652	6,255529	-15,0834
19,84643	6,387179	-15,501
20,61289	6,494402	-15,8718
21,3549	6,576521	-16,1944
22,07153	6,632924	-16,4675
22,76185	6,663065	-16,6898
23,42499	6,666468	-16,8604
24,06012	6,642721	-16,9784
24,66647	6,591486	-17,0431
25,2433	6,512492	-17,054
25,78997	6,40554	-17,0106
26,30588	6,270504	-16,913
26,7905	6,107324	-16,7612
27,24339	5,916014	-16,5552
27,66419	5,696655	-16,2956
28,05261	5,449398	-15,9829

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
28,40847	5,17446	-15,6178
28,73168	4,872125	-15,2013
29,02223	4,54274	-14,7343
29,28023	4,186714	-14,218
29,50588	3,804517	-13,6538
29,69949	3,396676	-13,0431
29,86146	2,963776	-12,3874
29,9923	2,506452	-11,6882
30,09262	2,025393	-10,9475
30,16311	1,521336	-10,1669
30,20459	0,995062	-9,34825
30,21794	0,447399	-8,49354
30,20414	-0,12079	-7,60472
30,16424	-0,70859	-6,68378
30,09937	-1,31507	-5,73278
30,01075	-1,93925	-4,75379
29,89963	-2,58011	-3,7489
29,76734	-3,23663	-2,72024
29,61525	-3,90774	-1,66996
29,44478	-4,59235	-0,60021
29,25738	-5,28934	0,48684
29,05454	-5,99758	1,588991
28,83777	-6,71592	2,704039
28,60858	-7,44318	3,829765
28,36852	-8,17817	4,963929
28,11913	-8,91969	6,104277
27,86194	-9,66653	7,248532
27,5985	-10,4174	8,394398
27,33034	-11,1712	9,539552
27,05896	-11,9266	10,68165
26,78585	-12,6823	11,81831
26,51249	-13,437	12,94713
26,24032	-14,1896	14,06566
25,97075	-14,9388	15,17145
25,70516	-15,6832	16,26198
25,44489	-16,4216	17,33471
25,19127	-17,1527	18,38706
24,94553	-17,8754	19,41643
24,70892	-18,5882	20,42017
24,48261	-19,29	21,39562
24,26774	-19,9796	22,34009
24,06537	-20,6556	23,25088

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
23,87657	-21,317	24,12529
23,7023	-21,9624	24,96062
23,5435	-22,5909	25,75418
23,40105	-23,2011	26,50334
23,27579	-23,792	27,2055
23,16849	-24,3626	27,85813
23,07986	-24,9117	28,4588
23,01058	-25,4384	29,00521
22,96126	-25,9418	29,49516
22,93244	-26,4209	29,92664
22,92464	-26,875	30,29781
22,93829	-27,3031	30,60706
22,97378	-27,7047	30,85298
23,03144	-28,0791	31,03442
23,11155	-28,4257	31,15052
23,21432	-28,744	31,20066
23,33993	-29,0336	31,18452
23,48847	-29,2942	31,10208
23,66	-29,5256	30,9536
23,85452	-29,7276	30,73963
24,07196	-29,9002	30,46101
24,31222	-30,0434	30,11881
24,57513	-30,1575	29,71437
24,86046	-30,2426	29,24925
25,16793	-30,2991	28,72523
25,49723	-30,3275	28,14424
25,84796	-30,3282	27,50839
26,21969	-30,302	26,81992
26,61193	-30,2495	26,08119
27,02414	-30,1715	25,29462
27,45573	-30,069	24,46273
27,90606	-29,9428	23,58807
28,37441	-29,794	22,67322
28,86005	-29,6237	21,72079
29,36218	-29,4331	20,73339
29,87994	-29,2233	19,71361
30,41243	-28,9957	18,66406
30,95869	-28,7514	17,58728
31,51771	-28,492	16,48582
32,08843	-28,2187	15,36219
32,66975	-27,9329	14,21887
33,26049	-27,6361	13,05829
33,85944	-27,3297	11,88286
34,46532	-27,0151	10,69496

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
35,07681	-26,6939	9,496936
35,69254	-26,3673	8,291093
36,31106	-26,0369	7,07972
36,93091	-25,7042	5,86508
37,55054	-25,3705	4,649411
38,16835	-25,0373	3,434935
38,78271	-24,706	2,223857
39,39193	-24,378	1,018369
39,99426	-24,0545	-0,17935
40,58792	-23,7369	-1,36712
41,17108	-23,4266	-2,54277
41,74185	-23,1248	-3,70415
42,29835	-22,8327	-4,84908
42,83862	-22,5515	-5,9754
43,36071	-22,2823	-7,08096
43,86264	-22,0264	-8,1636
44,34243	-21,7847	-9,22116
44,7981	-21,5583	-10,2515
45,22769	-21,3482	-11,2525
45,62927	-21,1553	-12,2219
46,00093	-20,9804	-13,1578
46,34086	-20,8246	-14,0579
46,64728	-20,6885	-14,9203
46,91853	-20,5729	-15,743
47,15305	-20,4785	-16,5239
47,3494	-20,4059	-17,2611
47,50628	-20,3557	-17,9529
47,62256	-20,3285	-18,5975
47,69727	-20,3248	-19,1931
47,72962	-20,3449	-19,7384
47,71901	-20,3893	-20,2318
47,66504	-20,4582	-20,6721
47,56752	-20,552	-21,0582
47,42645	-20,6709	-21,389
47,24204	-20,815	-21,6639
47,01469	-20,9844	-21,8821
46,74499	-21,1792	-22,0434
46,4337	-21,3993	-22,1474
46,08176	-21,6448	-22,1942
45,69025	-21,9156	-22,1839
45,26038	-22,2113	-22,1171
44,7935	-22,532	-21,9943
44,29104	-22,8772	-21,8162
43,75452	-23,2467	-21,584

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
43,18556	-23,6401	-21,2988
42,5858	-24,057	-20,9619
41,95695	-24,497	-20,5749
41,30075	-24,9594	-20,1394
40,61894	-25,4438	-19,6572
39,91329	-25,9496	-19,1304
39,18556	-26,476	-18,5607
38,43751	-27,0224	-17,9505
37,6709	-27,5881	-17,3019
36,88743	-28,1721	-16,6172
36,08883	-28,7736	-15,8987
35,27678	-29,3919	-15,1487
34,45292	-30,0258	-14,3697
33,61888	-30,6744	-13,564
32,77625	-31,3366	-12,7343
31,92659	-32,0113	-11,8828
31,07143	-32,6974	-11,0121
30,21227	-33,3937	-10,1246
29,35056	-34,0989	-9,22287
28,48774	-34,8116	-8,3093
27,6252	-35,5306	-7,38636
26,76431	-36,2543	-6,4565
25,90641	-36,9813	-5,52215
25,05279	-37,71	-4,58574
24,20473	-38,4388	-3,64967
23,36347	-39,1661	-2,71634
22,53023	-39,8901	-1,78813
21,70618	-40,6089	-0,8674
20,89249	-41,3208	0,043492
20,09028	-42,0238	0,942224
19,30063	-42,7159	1,826483
18,52462	-43,395	2,69398
17,76328	-44,0591	3,54245
17,01762	-44,7058	4,369653
16,28859	-45,3332	5,17338
15,57714	-45,9388	5,951455
14,88419	-46,5203	6,701741
14,21059	-47,0755	7,422143
13,55719	-47,602	8,110618
12,92479	-48,0974	8,765178
12,31415	-48,5596	9,383898
11,726	-48,9862	9,964923
11,16101	-49,3749	10,50648
10,61984	-49,7238	11,00688

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
10,10308	-50,0308	11,46453
9,611284	-50,294	11,87794
9,144969	-50,5118	12,24575
8,704592	-50,6827	12,56671
8,290568	-50,8053	12,83969
7,903257	-50,8785	13,06372
7,54297	-50,9017	13,23796
7,209965	-50,8741	13,36173
6,904444	-50,7956	13,4345
6,626553	-50,666	13,45592
6,376383	-50,4857	13,42577
6,153965	-50,2551	13,34402
5,959273	-49,9751	13,21079
5,792222	-49,6465	13,02638
5,652666	-49,2707	12,79122
5,540399	-48,8489	12,50594
5,455154	-48,3828	12,17127
5,396606	-47,8741	11,78811
5,364368	-47,3245	11,35751
5,357993	-46,736	10,88063
5,376976	-46,1107	10,35874
5,420753	-45,4504	9,793248
5,488702	-44,7573	9,185653
5,580144	-44,0334	8,537549
5,694348	-43,2809	7,850615
5,830526	-42,5019	7,126611
5,987839	-41,6982	6,367363
6,165397	-40,872	5,574763
6,362263	-40,0253	4,750756
6,577454	-39,1599	3,897338
6,809939	-38,2778	3,016551
7,058649	-37,3807	2,110472
7,322474	-36,4705	1,181217
7,600266	-35,5489	0,230933
7,890842	-34,6176	-0,7382
8,19299	-33,6781	-1,72399
8,505465	-32,7321	-2,72419
8,826997	-31,7812	-3,73655
9,156292	-30,8266	-4,75879
9,492035	-29,87	-5,78861
9,832893	-28,9127	-6,82368
10,17752	-27,956	-7,86164
10,52456	-27,0013	-8,90011
10,87263	-26,0498	-9,93669

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
11,22037	-25,1027	-10,9689
11,56641	-24,1611	-11,9944
11,90936	-23,2264	-13,0105
12,24785	-22,2995	-14,0149
12,58054	-21,3816	-15,0049
12,90606	-20,4737	-15,9779
13,22308	-19,5768	-16,9315
13,53028	-18,6918	-17,8629
13,82638	-17,8198	-18,7695
14,1101	-16,9617	-19,6486
14,38021	-16,1183	-20,4976
14,63551	-15,2904	-21,3139
14,87482	-14,4789	-22,0948
15,09704	-13,6846	-22,8377
15,30107	-12,9082	-23,54
15,4859	-12,1504	-24,1991
15,65054	-11,4119	-24,8127
15,79407	-10,6933	-25,3782
15,91563	-9,99524	-25,8935
16,01443	-9,31826	-26,3564
16,08972	-8,66289	-26,7648
16,14083	-8,02959	-27,1169
16,16719	-7,4188	-27,4111
16,16825	-6,83092	-27,6459
16,14356	-6,26629	-27,82
16,09276	-5,7252	-27,9324
16,01555	-5,2079	-27,9823
15,91169	-4,7146	-27,9692
15,78105	-4,24544	-27,8928
15,62356	-3,80052	-27,7532
15,43924	-3,37988	-27,5506
15,22816	-2,98352	-27,2854
14,99049	-2,61135	-26,9585
14,72647	-2,26327	-26,5708
14,4364	-1,93909	-26,1235
14,12067	-1,63856	-25,618
13,77971	-1,36141	-25,0559
13,41404	-1,10726	-24,4389
13,02424	-0,87571	-23,7689
12,61094	-0,66629	-23,0479
12,17483	-0,47846	-22,2781
11,71666	-0,31165	-21,4616
11,23723	-0,16521	-20,6006
10,73738	-0,03845	-19,6976

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
10,218	0,069383	-18,7549
9,68003	0,159095	-17,7747
9,124439	0,231536	-16,7596
8,552236	0,287607	-15,712
7,964461	0,328255	-14,6341
7,362187	0,354472	-13,5285
6,746512	0,367289	-12,3975
6,118561	0,367779	-11,2435
5,47948	0,357046	-10,0687
4,830435	0,336231	-8,87556
4,172608	0,306501	-7,66635
3,5072	0,269052	-6,44335
2,835421	0,2251	-5,20884
2,158492	0,175882	-3,96506
1,477644	0,12265	-2,71425
0,794114	0,066667	-1,45865
0,109143	0,009204	-0,20047
-0,57603	-0,04846	1,058054
-1,26015	-0,10506	2,314717
-1,94199	-0,1593	3,567293
-2,6203	-0,20994	4,813554
-3,29385	-0,2557	6,051264
-3,96142	-0,29535	7,278174
-4,62179	-0,32767	8,492022
-5,27376	-0,35145	9,690526
-5,91615	-0,36552	10,87139
-6,54777	-0,36873	12,0323
-7,16748	-0,35996	13,17091
-7,77414	-0,33812	14,28487
-8,36665	-0,30218	15,37181
-8,94393	-0,25113	16,42934
-9,50492	-0,184	17,45507
-10,0486	-0,09989	18,4466
-10,574	0,002087	19,40152
-11,0802	0,122736	20,31747
-11,5662	0,262828	21,19206
-12,0312	0,423077	22,02297
-12,4745	0,604141	22,80792
-12,8951	0,806623	23,54468
-13,2925	1,031071	24,23113
-13,6659	1,277973	24,8652
-14,0148	1,54776	25,44499
-14,3386	1,840806	25,9687
-14,6369	2,157424	26,4347

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-14,9092	2,497873	26,84154
-15,1553	2,86235	27,18794
-15,3749	3,250998	27,47286
-15,5678	3,6639	27,69548
-15,7338	4,101087	27,85521
-15,873	4,562533	27,95173
-15,9854	5,048157	27,98495
-16,071	5,557829	27,95506
-16,1302	6,091364	27,8625
-16,1632	6,64853	27,70797
-16,1703	7,229042	27,49241
-16,1519	7,832573	27,217
-16,1087	8,458745	26,88315
-16,041	9,107139	26,49246
-15,9496	9,777291	26,04672
-15,8352	10,46869	25,5479
-15,6986	11,1808	24,99812
-15,5406	11,91303	24,39962
-15,3621	12,66476	23,75474
-15,1641	13,43531	23,06594
-14,9475	14,22401	22,33571
-14,7135	15,0301	21,56665
-14,4632	15,85284	20,76134
-14,1977	16,6914	19,92244
-13,9182	17,54496	19,05259
-13,6259	18,41264	18,15446
-13,3221	19,29355	17,23068
-13,008	20,18675	16,28392
-12,6851	21,09128	15,3168
-12,3545	22,00613	14,33191
-12,0177	22,93026	13,33186
-11,676	23,86262	12,31918
-11,3308	24,80209	11,29642
-10,9835	25,74754	10,26608
-10,6354	26,6978	9,230616
-10,2879	27,65166	8,192485
-9,94232	28,60786	7,154102
-9,60012	29,56512	6,117856
-9,2626	30,5221	5,086109
-8,93111	31,47743	4,061201
-8,60696	32,4297	3,045442
-8,29146	33,37744	2,041122
-7,98589	34,31914	1,050503
-7,69149	35,25324	0,075825

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-7,4095	36,17813	-0,8807
-7,1411	37,09215	-1,81689
-6,88745	37,99358	-2,73058
-6,64968	38,88066	-3,61965
-6,42887	39,75158	-4,48201
-6,22606	40,60447	-5,31561
-6,04224	41,43741	-6,11842
-5,87838	42,24844	-6,8885
-5,73538	43,03557	-7,62394
-5,61409	43,79676	-8,32287
-5,51531	44,52995	-8,98353
-5,4398	45,23307	-9,60421
-5,38826	45,90402	-10,1833
-5,36131	46,54075	-10,7192
-5,35955	47,14119	-11,2106
-5,3835	47,70336	-11,6561
-5,43362	48,2253	-12,0544
-5,51033	48,70518	-12,4047
-5,61396	49,14123	-12,7058
-5,74479	49,53187	-12,957
-5,90307	49,87562	-13,1576
-6,08894	50,17124	-13,3072
-6,30252	50,41766	-13,4053
-6,54385	50,61405	-13,4519
-6,81292	50,75981	-13,4469
-7,10966	50,85462	-13,3905
-7,43393	50,8984	-13,2829
-7,78555	50,89137	-13,1247
-8,16428	50,834	-12,9164
-8,56983	50,72701	-12,6589
-9,00186	50,57142	-12,3531
-9,45996	50,36842	-12,0001
-9,94369	50,11949	-11,6011
-10,4526	49,82624	-11,1574
-10,986	49,49049	-10,6704
-11,5435	49,11419	-10,1418
-12,1243	48,69943	-9,57315
-12,7279	48,24838	-8,96624
-13,3534	47,76327	-8,32289
-14,0002	47,24641	-7,645
-14,6675	46,70011	-6,93455
-15,3544	46,12671	-6,19356
-16,06	45,52853	-5,42411
-16,7835	44,90789	-4,62832

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-17,524	44,26705	-3,80835
-18,2805	43,60827	-2,96642
-19,0519	42,93371	-2,10474
-19,8373	42,24553	-1,22557
-20,6357	41,5458	-0,3312
-21,4458	40,83653	0,576075
-22,2667	40,11969	1,493923
-23,0971	39,39714	2,420005
-23,936	38,67073	3,351962
-24,782	37,94221	4,287418
-25,634	37,21328	5,223983
-26,4907	36,48557	6,159252
-27,3507	35,76065	7,090807
-28,2129	35,04003	8,016216
-29,0758	34,32516	8,933036
-29,938	33,61743	9,838816
-30,7981	32,91818	10,73109
-31,6547	32,2287	11,6074
-32,5063	31,5502	12,46527
-33,3513	30,88387	13,30223
-34,1883	30,23082	14,11581
-35,0156	29,59213	14,90357
-35,8316	28,96881	15,66306
-36,6346	28,36183	16,39188
-37,4231	27,77212	17,08764
-38,1953	27,20055	17,748
-38,9494	26,64794	18,37068
-39,6838	26,11506	18,95345
-40,3967	25,60264	19,49418
-41,0863	25,11136	19,99079
-41,7508	24,64184	20,44133
-42,3886	24,19467	20,84397
-42,9978	23,77037	21,19699
-43,5767	23,36943	21,49883
-44,1238	22,99227	21,74808
-44,6372	22,63928	21,9435
-45,1156	22,31078	22,08402
-45,5574	22,00706	22,16877
-45,9613	21,72834	22,19709
-46,326	21,4748	22,16849
-46,6503	21,24655	22,08271
-46,9333	21,04367	21,93969
-47,1743	20,86619	21,73956
-47,3724	20,71405	21,48269

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-47,5273	20,58717	21,1696
-47,6387	20,48541	20,80103
-47,7065	20,40857	20,37789
-47,7309	20,3564	19,90126
-47,7122	20,32859	19,37237
-47,6509	20,32478	18,79259
-47,5478	20,34456	18,16343
-47,4037	20,38746	17,4865
-47,2198	20,45296	16,76353
-46,9973	20,54049	15,99633
-46,7376	20,64942	15,18677
-46,4422	20,77907	14,33682
-46,1127	20,92871	13,44847
-45,751	21,09756	12,52376
-45,3587	21,2848	11,56477
-44,9379	21,48955	10,57362
-44,4903	21,71087	9,552409
-44,018	21,9478	8,50329
-43,5229	22,19933	7,428407
-43,007	22,46438	6,329914
-42,4723	22,74186	5,209969
-41,9208	23,03063	4,07073
-41,3543	23,32949	2,914359
-40,7749	23,63724	1,743018
-40,1844	23,95263	0,558872
-39,5846	24,27435	-0,63591
-38,9774	24,6011	-1,83916
-38,3645	24,93154	-3,0487
-37,7476	25,26429	-4,26233
-37,1284	25,59796	-5,47786
-36,5084	25,93115	-6,69307
-35,8893	26,26242	-7,90573
-35,2725	26,59034	-9,11358
-34,6596	26,91346	-10,3143
-34,0517	27,23033	-11,5057
-33,4504	27,5395	-12,6854
-32,857	27,83952	-13,8509
-32,2725	28,12896	-15
-31,6983	28,40638	-16,1302
-31,1354	28,67039	-17,239
-30,585	28,9196	-18,3239
-30,048	29,15266	-19,3824
-29,5254	29,36826	-20,4119
-29,0182	29,56512	-21,4099

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-28,5273	29,74201	-22,3738
-28,0533	29,89777	-23,3009
-27,5972	30,03127	-24,1886
-27,1595	30,14147	-25,0344
-26,7411	30,22738	-25,8357
-26,3424	30,28809	-26,59
-25,9641	30,32278	-27,2947
-25,6066	30,3307	-27,9475
-25,2705	30,3112	-28,5462
-24,956	30,2637	-29,0886
-24,6636	30,18774	-29,5727
-24,3935	30,08293	-29,9967
-24,146	29,94899	-30,3588
-23,9213	29,78574	-30,6579
-23,7195	29,59309	-30,8925
-23,5406	29,37106	-31,0619
-23,3848	29,11974	-31,1654
-23,2518	28,83934	-31,2027
-23,1418	28,53015	-31,1737
-23,0545	28,19253	-31,0785
-22,9897	27,82696	-30,9178
-22,9472	27,43398	-30,6923
-22,9266	27,01421	-30,4031
-22,9277	26,56833	-30,0515
-22,9498	26,0971	-29,639
-22,9927	25,60136	-29,1675
-23,0557	25,08196	-28,6388
-23,1382	24,53985	-28,0552
-23,2396	23,97601	-27,4189
-23,3592	23,39146	-26,7322
-23,4963	22,78726	-25,9978
-23,65	22,16452	-25,2181
-23,8194	21,52436	-24,3957
-24,0037	20,86793	-23,5335
-24,2019	20,19643	-22,634
-24,4129	19,51105	-21,7
-24,6357	18,81301	-20,7341
-24,8691	18,10354	-19,7391
-25,1121	17,38389	-18,7176
-25,3633	16,65532	-17,6723
-25,6216	15,91908	-16,6057
-25,8857	15,17645	-15,5206
-26,1541	14,42868	-14,4194
-26,4256	13,67705	-13,3046

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-26,6987	12,92284	-12,1788
-26,9721	12,1673	-11,0444
-27,2442	11,41169	-9,90379
-27,5135	10,65729	-8,75935
-27,7786	9,905331	-7,61346
-28,038	9,157063	-6,46844
-28,29	8,413716	-5,3266
-28,5332	7,676513	-4,19022
-28,766	6,946661	-3,06156
-28,9869	6,225354	-1,94287
-29,1944	5,51377	-0,83637
-29,3869	4,813071	0,255722
-29,5629	4,124397	1,33122
-29,721	3,448869	2,387941
-29,8597	2,787586	3,423719
-29,9777	2,141619	4,436409
-30,0737	1,512015	5,42388
-30,1462	0,899792	6,384024
-30,1942	0,305936	7,314759
-30,2164	-0,2686	8,214031
-30,2119	-0,8229	9,079819
-30,1794	-1,35607	9,910144
-30,1183	-1,8673	10,70307
-30,0275	-2,35576	11,45673
-29,9065	-2,82072	12,16929
-29,7545	-3,26147	12,83903
-29,571	-3,67736	13,46427
-29,3556	-4,06779	14,04347
-29,1079	-4,4322	14,57515
-28,8278	-4,77012	15,05797
-28,515	-5,08112	15,4907
-28,1695	-5,36481	15,87228
-27,7914	-5,62091	16,20175
-27,3809	-5,84918	16,47833
-26,9382	-6,04944	16,70142
-26,4637	-6,22158	16,87055
-25,9577	-6,36558	16,98545
-25,4207	-6,48147	17,04605
-24,8534	-6,56935	17,05242
-24,2564	-6,6294	17,00484
-23,6304	-6,66187	16,90377
-22,9761	-6,66707	16,74984
-22,2943	-6,6454	16,54387
-21,586	-6,59731	16,28682

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-20,8519	-6,52331	15,97984
-20,0932	-6,42402	15,62423
-19,3106	-6,30007	15,2214
-18,5053	-6,15219	14,77294
-17,6782	-5,98116	14,28052
-16,8305	-5,78782	13,74595
-15,9631	-5,57306	13,17113
-15,0772	-5,33783	12,55804
-14,1739	-5,08313	11,90875
-13,2542	-4,81	11,2254
-12,3193	-4,51955	10,51018
-11,3703	-4,21289	9,765351
-10,4084	-3,89121	8,993188
-9,43468	-3,55572	8,196024
-8,45026	-3,20766	7,376214
-7,45631	-2,8483	6,53614
-6,45396	-2,47893	5,678202
-5,44436	-2,10088	4,804816
-4,42866	-1,7155	3,918411
-3,40801	-1,32413	3,021423
-2,38354	-0,92815	2,116298
-1,35642	-0,52895	1,205484
-0,32778	-0,1279	0,291434
0,701218	0,273583	-0,6234
1,729437	0,67412	-1,53656
2,755727	1,072313	-2,44559
3,77894	1,466777	-3,34804
4,797929	1,856132	-4,24147
5,811546	2,23901	-5,12343
6,818646	2,61406	-5,99149
7,818082	2,979948	-6,84323
8,808709	3,335359	-7,67622
9,789385	3,679005	-8,48809
10,75897	4,009624	-9,27645
11,71632	4,325987	-10,039
12,66031	4,626896	-10,7733
13,5898	4,911192	-11,4772
14,50368	5,177755	-12,1485
15,40082	5,425509	-12,7848
16,28012	5,653424	-13,3843
17,1405	5,860518	-13,9447
17,98086	6,045862	-14,4642
18,80015	6,208583	-14,9409
19,59732	6,347862	-15,373

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
20,37135	6,462942	-15,7588
21,12126	6,553126	-16,097
21,84607	6,617783	-16,3859
22,54487	6,656345	-16,6246
23,21676	6,668312	-16,8118
23,8609	6,653254	-16,9466
24,4765	6,610807	-17,0283
25,06281	6,54068	-17,0564
25,61915	6,442651	-17,0303
26,14492	6,31657	-16,95
26,63956	6,162357	-16,8154
27,1026	5,980001	-16,6267
27,53365	5,769564	-16,3841
27,93241	5,531173	-16,0882
28,29866	5,265025	-15,7398
28,63227	4,971382	-15,3395
28,93322	4,650571	-14,8885
29,20157	4,302983	-14,3878
29,4375	3,929068	-13,8387
29,64128	3,529335	-13,2426
29,81327	3,10435	-12,601
29,95397	2,654733	-11,9155
30,06394	2,181157	-11,1879
30,14385	1,684343	-10,4197
30,19448	1,165058	-9,61301
30,21668	0,624116	-8,76959
30,21142	0,06237	-7,89142
30,17971	-0,51929	-6,98049
30,12267	-1,11992	-6,03884
30,04148	-1,73857	-5,06854
29,93739	-2,37423	-4,07167
29,81169	-3,02588	-3,05035
29,66576	-3,69245	-2,00672
29,50099	-4,37288	-0,94294
29,31882	-5,06605	0,138838
29,12074	-5,77083	1,236416
28,90824	-6,48608	2,347597
28,68284	-7,21063	3,470163
28,44607	-7,94329	4,601884
28,19949	-8,68286	5,740508
27,94462	-9,42813	6,883767
27,683	-10,1779	8,02937
27,41618	-10,9309	9,175004
27,14566	-11,6859	10,31833

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
26,87294	-12,4416	11,45698
26,5995	-13,1968	12,58856
26,3268	-13,9502	13,71064
26,05625	-14,7006	14,82076
25,78924	-15,4466	15,91642
25,52714	-16,1871	16,9951
25,27126	-16,9207	18,05422
25,02287	-17,6462	19,0912
24,78323	-18,3623	20,10339
24,55351	-19,0677	21,08814
24,33487	-19,7613	22,04277
24,12841	-20,4418	22,96459
23,93518	-21,108	23,85088
23,75617	-21,7586	24,69895
23,59234	-22,3926	25,5061
23,4446	-23,0088	26,26969
23,31378	-23,6059	26,98709
23,20067	-24,1831	27,65577
23,10602	-24,7392	28,27325
23,03051	-25,2731	28,83719
22,97477	-25,7841	29,34535
22,93936	-26,271	29,79566
22,92481	-26,7331	30,18623
22,93158	-27,1696	30,51536
22,96008	-27,5797	30,78159
23,01065	-27,9628	30,98368
23,08358	-28,3183	31,12067
23,17912	-28,6457	31,19187
23,29743	-28,9445	31,19686
23,43866	-29,2143	31,13552
23,60287	-29,455	31,00803
23,79007	-29,6664	30,81485
24,00022	-29,8484	30,55671
24,23323	-30,001	30,23463
24,48894	-30,1243	29,84986
24,76715	-30,2186	29,40389
25,06761	-30,2842	28,89842
25,38999	-30,3215	28,33536
25,73394	-30,331	27,71675
26,09903	-30,3132	27,04479
26,48479	-30,269	26,32181
26,89071	-30,1991	25,55021
27,31619	-30,1042	24,73248
27,76062	-29,9855	23,87116

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
28,22331	-29,8438	22,96883
28,70353	-29,6802	22,02809
29,2005	-29,4959	21,05154
29,71338	-29,2921	20,0418
30,24127	-29,07	19,00145
30,78325	-28,8309	17,93307
31,33832	-28,5762	16,8392
31,90544	-28,3072	15,72236
32,4835	-28,0252	14,58504
33,07137	-27,7318	13,4297
33,66784	-27,4283	12,25874
34,27165	-27,1161	11,07456
34,88151	-26,7968	9,879503
35,49604	-26,4718	8,6759
36,11383	-26,1425	7,466042
36,73342	-25,8104	6,252198
37,35329	-25,4768	5,036615
37,97185	-25,1433	3,821519
38,5875	-24,8113	2,60912
39,19854	-24,482	1,401614
39,80326	-24,1569	0,201186
40,39988	-23,8374	-0,98999
40,98658	-23,5246	-2,16974
41,5615	-23,2199	-3,33589
42,12275	-22,9246	-4,4863
42,6684	-22,6398	-5,61878
43,1965	-22,3667	-6,73119
43,70507	-22,1064	-7,82137
44,19213	-21,8601	-8,88715
44,6557	-21,6287	-9,92638
45,09381	-21,4133	-10,9369
45,50451	-21,2148	-11,9167
45,88591	-21,0341	-12,8634
46,23614	-20,8721	-13,7752
46,55341	-20,7297	-14,6498
46,83604	-20,6075	-15,4854
47,08242	-20,5062	-16,2798
47,29108	-20,4266	-17,0311
47,46067	-20,3692	-17,7376
47,58999	-20,3347	-18,3974
47,67804	-20,3234	-19,0088
47,72395	-20,3359	-19,5703
47,72708	-20,3725	-20,0804
47,68695	-20,4336	-20,5377

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
47,60331	-20,5195	-20,9412
47,4761	-20,6303	-21,2897
47,30546	-20,7663	-21,5824
47,09173	-20,9277	-21,8188
46,83545	-21,1144	-21,9982
46,53731	-21,3265	-22,1205
46,19821	-21,5639	-22,1855
45,81918	-21,8266	-22,1934
45,40139	-22,1144	-22,1445
44,94615	-22,4272	-22,0394
44,45486	-22,7646	-21,8789
43,92902	-23,1264	-21,6638
43,37021	-23,5122	-21,3953
42,78008	-23,9217	-21,0747
42,16031	-24,3544	-20,7035
41,51263	-24,8097	-20,2833
40,83879	-25,2872	-19,8158
40,14054	-25,7862	-19,3029
39,41965	-26,3061	-18,7467
38,67789	-26,8463	-18,1492
37,917	-27,4058	-17,5126
37,13871	-27,9841	-16,8391
36,34475	-28,5802	-16,1311
35,5368	-29,1932	-15,3908
34,71652	-29,8222	-14,6208
33,88555	-30,4662	-13,8234
33,04549	-31,1242	-13,001
32,1979	-31,7951	-12,1562
31,34433	-32,4777	-11,2914
30,48629	-33,1709	-10,409
29,62523	-33,8734	-9,5115
28,76261	-34,5839	-8,60143
27,89983	-35,301	-7,68121
27,03827	-36,0233	-6,75329
26,17927	-36,7494	-5,82011
25,32415	-37,4778	-4,88409
24,47418	-38,2068	-3,94765
23,63062	-38,9347	-3,01319
22,7947	-39,6599	-2,08309
21,9676	-40,3806	-1,15973
21,15049	-41,0949	-0,24545
20,3445	-41,801	0,657411
19,55073	-42,4967	1,54653
18,77026	-43,1802	2,419613

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
18,00414	-43,8493	3,274388
17,25337	-44,5018	4,108607
16,51894	-45,1356	4,92005
15,8018	-45,7484	5,706529
15,10286	-46,3378	6,465896
14,423	-46,9016	7,196042
13,76308	-47,4375	7,894905
13,1239	-47,9431	8,56048
12,50625	-48,4161	9,190821
11,91086	-48,8543	9,784049
11,33842	-49,2553	10,33836
10,7896	-49,6171	10,85205
10,265	-49,9377	11,32348
9,765194	-50,215	11,75114
9,29071	-50,4475	12,13362
8,842025	-50,6334	12,46963
8,419564	-50,7715	12,75801
8,023708	-50,8606	12,99773
7,654783	-50,8998	13,18791
7,313063	-50,8884	13,32782
6,998769	-50,8261	13,41688
6,712064	-50,7128	13,45469
6,453058	-50,5486	13,44097
6,2218	-50,334	13,37565
6,018283	-50,0696	13,2588
5,842441	-49,7564	13,09065
5,694146	-49,3954	12,8716
5,573213	-48,9881	12,60221
5,479393	-48,536	12,28318
5,41238	-48,0406	11,91536
5,371807	-47,5039	11,49975
5,357246	-46,9276	11,03748
5,36821	-46,3137	10,52978
5,404154	-45,6644	9,978018
5,464474	-44,9815	9,383666
5,548511	-44,2672	8,748286
5,655547	-43,5236	8,073534
5,784814	-42,7528	7,361142
5,935489	-41,9567	6,612918
6,106698	-41,1375	5,830733
6,297519	-40,2971	5,016516
6,506982	-39,4375	4,172247
6,734072	-38,5605	3,299953
6,977733	-37,668	2,401703

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
7,236866	-36,7618	1,479598
7,510336	-35,8436	0,535778
7,79697	-34,9152	-0,42759
8,095566	-33,9782	-1,40831
8,404888	-33,0341	-2,40416
8,723674	-32,0845	-3,4129
9,050638	-31,131	-4,43224
9,384471	-30,1749	-5,4599
9,723846	-29,2177	-6,49355
10,06742	-28,2606	-7,53085
10,41384	-27,3051	-8,56942
10,76173	-26,3524	-9,60686
11,10973	-25,4038	-10,6407
11,45645	-24,4604	-11,6686
11,80053	-23,5233	-12,688
12,1406	-22,5938	-13,6964
12,47528	-21,673	-14,6913
12,80323	-20,7617	-15,67
13,1231	-19,8612	-16,63
13,43357	-18,9724	-17,5688
13,73335	-18,0961	-18,4835
14,02114	-17,2335	-19,3717
14,29572	-16,3853	-20,2306
14,55587	-15,5524	-21,0576
14,8004	-14,7356	-21,8501
15,02818	-13,9357	-22,6054
15,23812	-13,1535	-23,3209
15,42917	-12,3897	-23,994
15,60034	-11,645	-24,6223
15,7507	-10,92	-25,2034
15,87935	-10,2153	-25,7349
15,98547	-9,53158	-26,2147
16,06833	-8,86927	-26,6407
16,12721	-8,22889	-27,011
16,16151	-7,61089	-27,3238
16,17068	-7,01567	-27,5776
16,15424	-6,4436	-27,7712
16,1118	-5,89498	-27,9033
16,04302	-5,37008	-27,9732
15,94767	-4,86912	-27,9802
15,82558	-4,39226	-27,924
15,67664	-3,93961	-27,8045
15,50086	-3,51123	-27,6219
15,29829	-3,10714	-27,3766

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
15,06907	-2,72728	-27,0693
14,81341	-2,37154	-26,7008
14,5316	-2,03977	-26,2723
14,224	-1,73174	-25,7852
13,89102	-1,44717	-25,241
13,53317	-1,18574	-24,6413
13,15099	-0,94704	-23,9879
12,7451	-0,73062	-23,283
12,31618	-0,53598	-22,5285
11,86495	-0,36254	-21,7266
11,3922	-0,20969	-20,8796
10,89876	-0,07674	-19,9897
10,3855	0,03704	-19,0593
9,85335	0,132435	-18,0908
9,303264	0,210282	-17,0866
8,736241	0,271467	-16,0491
8,153311	0,316922	-14,9806
7,555537	0,347626	-13,8836
6,94401	0,364597	-12,7604
6,319846	0,368894	-11,6134
5,684184	0,361614	-10,445
5,038185	0,343885	-9,25746
4,383027	0,316866	-8,05312
3,719903	0,281745	-6,83427
3,05002	0,239731	-5,60318
2,374599	0,192056	-4,36211
1,694865	0,139965	-3,1133
1,012055	0,08472	-1,85898
0,327408	0,02759	-0,60139
-0,35783	-0,03015	0,657271
-1,04243	-0,08722	1,914769
-1,72513	-0,14235	3,168888
-2,40469	-0,19428	4,417403
-3,07989	-0,24173	5,65808
-3,7495	-0,28346	6,888675
-4,4123	-0,31825	8,10693
-5,06708	-0,34488	9,31057
-5,71264	-0,36217	10,4973
-6,34782	-0,36896	11,66482
-6,97144	-0,36412	12,81079
-7,58238	-0,34656	13,93286
-8,17952	-0,31522	15,02866
-8,76177	-0,26909	16,09582
-9,32806	-0,20719	17,13194

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-9,87737	-0,12858	18,13462
-10,4087	-0,03238	19,10147
-10,9211	0,082231	20,03009
-11,4136	0,21605	20,9181
-11,8855	0,369804	21,76318
-12,3357	0,544169	22,56301
-12,7636	0,739767	23,31536
-13,1685	0,957162	24,01806
-13,5496	1,196862	24,66903
-13,9063	1,459317	25,26632
-14,2382	1,744917	25,80808
-14,5447	2,053996	26,29262
-14,8253	2,38683	26,71845
-15,0798	2,743635	27,08422
-15,3079	3,124572	27,38883
-15,5092	3,529743	27,63137
-15,6838	3,959194	27,81118
-15,8316	4,412919	27,92786
-15,9525	4,890854	27,98123
-16,0466	5,392883	27,97141
-16,1142	5,91884	27,89875
-16,1555	6,468507	27,76387
-16,1708	7,041616	27,56763
-16,1605	7,637854	27,31115
-16,1251	8,256857	26,99574
-16,0652	8,898221	26,62297
-15,9813	9,561495	26,19456
-15,8741	10,24619	25,71243
-15,7445	10,95176	25,17864
-15,5932	11,67765	24,59541
-15,4211	12,42323	23,96504
-15,2292	13,18787	23,28996
-15,0184	13,97086	22,57265
-14,7899	14,7715	21,81568
-14,5446	15,58901	21,02163
-14,2838	16,42262	20,19314
-14,0086	17,2715	19,33286
-13,7203	18,13478	18,44345
-13,42	19,01158	17,52755
-13,1091	19,90097	16,58783
-12,7888	20,80199	15,62691
-12,4606	21,71366	14,6474
-12,1256	22,63495	13,6519
-11,7853	23,56481	12,64297

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-11,4411	24,50213	11,62315
-11,0943	25,44581	10,59495
-10,7463	26,39467	9,560848
-10,3984	27,34751	8,523304
-10,0521	28,3031	7,484741
-9,70868	29,26016	6,447556
-9,36952	30,21738	5,414121
-9,03596	31,17339	4,386782
-8,70933	32,1268	3,36786
-8,39094	33,07614	2,359649
-8,08207	34,01993	1,364422
-7,78398	34,95662	0,384425
-7,4979	35,88462	-0,57812
-7,22505	36,80229	-1,52102
-6,96658	37,70792	-2,44211
-6,72363	38,59977	-3,33926
-6,4973	39,47603	-4,21035
-6,28864	40,33487	-5,05333
-6,09867	41,17438	-5,86616
-5,92836	41,9926	-6,64688
-5,77861	42,78757	-7,39355
-5,65032	43,55724	-8,10431
-5,54429	44,29957	-8,77735
-5,46129	45,01249	-9,41094
-5,40204	45,69392	-10,0034
-5,36719	46,34177	-10,5533
-5,35735	46,95399	-11,059
-5,37305	47,52856	-11,5192
-5,41479	48,06353	-11,9327
-5,48299	48,557	-12,2984
-5,57801	49,00719	-12,6152
-5,70015	49,41246	-12,8824
-5,84966	49,77129	-13,0992
-6,02673	50,08237	-13,2651
-6,23148	50,34457	-13,3796
-6,46397	50,55697	-13,4427
-6,72421	50,7189	-13,4541
-7,01214	50,82996	-13,414
-7,32766	50,88999	-13,3227
-7,67059	50,8991	-13,1805
-8,04072	50,8577	-12,9881
-8,43776	50,76642	-12,7462
-8,8614	50,62619	-12,4557
-9,31124	50,43814	-12,1176

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-9,78686	50,20367	-11,7331
-10,2878	49,92435	-11,3035
-10,8135	49,60193	-10,8301
-11,3633	49,23833	-10,3146
-11,9368	48,83559	-9,75852
-12,5332	48,39586	-9,1636
-13,1518	47,92135	-8,53166
-13,792	47,41435	-7,86456
-14,4528	46,87718	-7,16427
-15,1335	46,31216	-6,43278
-15,8333	45,72162	-5,67216
-16,5512	45,10788	-4,88453
-17,2864	44,47323	-4,07203
-18,0378	43,81992	-3,23685
-18,8046	43,15016	-2,38121
-19,5857	42,46609	-1,50737
-20,38	41,76982	-0,61759
-21,1865	41,06337	0,285822
-22,0041	40,34873	1,200555
-22,8316	39,6278	2,124269
-23,6679	38,90243	3,054612
-24,5118	38,17439	3,989212
-25,362	37,44541	4,925684
-26,2173	36,71714	5,861628
-27,0765	35,99116	6,794629
-27,9381	35,26901	7,72226
-28,8009	34,55215	8,642082
-29,6635	33,842	9,551645
-30,5245	33,13992	10,44849
-31,3823	32,44719	11,33015
-32,2357	31,76506	12,19416
-33,083	31,09473	13,03805
-33,9227	30,43733	13,85935
-34,7532	29,79395	14,6556
-35,573	29,16563	15,42436
-36,3803	28,55334	16,16321
-37,1736	27,95804	16,86975
-37,9512	27,3806	17,54164
-38,7112	26,82186	18,17657
-39,4521	26,28261	18,77229
-40,172	25,7636	19,32663
-40,8692	25,26552	19,83751
-41,542	24,789	20,30293
-42,1884	24,33465	20,72102

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-42,8069	23,90301	21,09003
-43,3957	23,49458	21,40833
-43,9531	23,1098	21,67447
-44,4774	22,74908	21,88716
-44,9671	22,41274	22,04527
-45,4208	22,1011	22,14787
-45,8368	21,8144	22,19423
-46,2141	21,55282	22,1838
-46,5514	21,3165	22,11625
-46,8477	21,10554	21,99145
-47,1021	20,91997	21,80949
-47,314	20,75976	21,57064
-47,4827	20,62485	21,27539
-47,6079	20,51511	20,9244
-47,6897	20,43036	20,51854
-47,7279	20,37036	20,05882
-47,7228	20,33482	19,54643
-47,675	20,32341	18,9827
-47,5851	20,33573	18,3691
-47,454	20,37132	17,7072
-47,2826	20,42968	16,99871
-47,0723	20,51025	16,24539
-46,8242	20,61244	15,44912
-46,54	20,73556	14,61182
-46,2213	20,87892	13,73548
-45,8696	21,04174	12,82213
-45,4869	21,22322	11,87383
-45,0749	21,42249	10,89269
-44,6356	21,63863	9,880826
-44,171	21,8707	8,840366
-43,6829	22,11769	7,773456
-43,1734	22,37855	6,68225
-42,6445	22,65219	5,568903
-42,0981	22,93749	4,435575
-41,5362	23,23327	3,284426
-40,9608	23,53833	2,117619
-40,3736	23,85142	0,937317
-39,7766	24,17126	-0,25431
-39,1715	24,49656	-1,4551
-38,5602	24,82597	-2,66287
-37,9444	25,15813	-3,87544
-37,3258	25,49166	-5,0906
-36,7059	25,82516	-6,30616
-36,0863	26,1572	-7,51987

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-35,4687	26,48634	-8,7295
-34,8543	26,81115	-9,93277
-34,2447	27,13017	-11,1274
-33,6412	27,44195	-12,311
-33,0451	27,74504	-13,4814
-32,4576	28,038	-14,6359
-31,88	28,3194	-15,7724
-31,3134	28,58784	-16,8883
-30,7589	28,84191	-17,9811
-30,2175	29,08026	-19,0483
-29,6903	29,30156	-20,0873
-29,1781	29,50452	-21,0956
-28,6818	29,68791	-22,0706
-28,2024	29,85052	-23,0097
-27,7405	29,99123	-23,9103
-27,2969	30,10896	-24,7697
-26,8723	30,20271	-25,5855
-26,4672	30,27154	-26,355
-26,0824	30,3146	-27,0757
-25,7182	30,33113	-27,7454
-25,3752	30,32042	-28,3616
-25,0538	30,2819	-28,9221
-24,7543	30,21505	-29,425
-24,4771	30,11946	-29,8683
-24,2224	29,99483	-30,2503
-23,9904	29,84093	-30,5695
-23,7813	29,65765	-30,8248
-23,5951	29,44497	-31,0151
-23,4319	29,20296	-31,1397
-23,2917	28,9318	-31,198
-23,1744	28,63174	-31,1901
-23,0799	28,30313	-31,116
-23,0079	27,94641	-30,9761
-22,9583	27,5621	-30,7711
-22,9308	27,15079	-30,5021
-22,925	26,71314	-30,1702
-22,9405	26,24991	-29,7769
-22,9768	25,76188	-29,324
-23,0334	25,24992	-28,8133
-23,1098	24,71494	-28,2469
-23,2053	24,15791	-27,6271
-23,3192	23,57984	-26,9563
-23,4508	22,98179	-26,2367
-23,5993	22,36483	-25,4712

$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
-23,7638	21,73009	-24,6621
-23,9435	21,07872	-23,8123
-24,1373	20,41189	-22,9244
-24,3443	19,73079	-22,0011
-24,5635	19,03665	-21,045
-24,7937	18,33069	-20,059
-25,0337	17,61415	-19,0457
-25,2825	16,88829	-18,0076
-25,5387	16,15435	-16,9476
-25,801	15,41362	-15,8681
-26,0682	14,66735	-14,7718
-26,3389	13,91681	-13,661
-26,6116	13,16328	-12,5385
-26,8851	12,40803	-11,4065
-27,1577	11,65231	-10,2676
-27,4281	10,89738	-9,12416
-27,6947	10,14451	-7,97848
-27,9561	9,394933	-6,83293
-28,2106	8,649886	-5,68983
-28,4568	7,910594	-4,55146
-28,6931	7,17827	-3,4201
-28,918	6,454113	-2,29799
-29,1299	5,739305	-1,18737

