

Entwicklung einer Bahnregelung für Schiffe auf Basis der neuronalen Netze

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik

der Universität Rostock



vorgelegt von

M.Sc. Vladislav Grigoryev

geb. am 07.10.1981 in Magadan, Russland

aus Rostock

Rostock, Juli 2011

Rostocker Meerestechnische Reihe
herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Paschen

Band 7/2011

Vladislav Grigoryev

**Entwicklung einer Bahnregelung
für Schiffe auf Basis der neuronalen Netze**

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Rostock, Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0637-7

ISSN 1868-7636

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Meerestechnik an der Universität Rostock im Rahmen eines Promotionsverfahrens und darauf folgenden Forschungsprojekts MAPRO (Förderkennzeichen des BMBF: 03IP509).

In erster Linie bedanke ich mich recht herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Paschen für das Interesse an meinem Forschungsthema und für die gegebene Möglichkeit, an seinem Lehrstuhl zu promovieren sowie für die gute Betreuung während des gesamten Verfahrens.

Ich bin auch allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Meerestechnik für ihre jederzeitige Hilfsbereitschaft und wertvolle Unterstützung sowie für die schöne Zeit sehr dankbar.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Aschemann und Herrn Dr.-Ing. A. Rauh vom Lehrstuhl für Mechatronik sowie Herrn Dr.-Ing. A. Wolter vom Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Universität Rostock für die hilfreiche Kooperation.

Mein besonderer Dank geht an meinen Hilfswissenschaftler Jens Windelberg für seine fleißige Mitarbeit und wertvolle Ideen bei der Vorbereitung und Durchführung des Experiments.

Bei meiner Frau Elena und meinen Eltern bedanke ich mich dafür, dass sie an mich geglaubt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Mathematisches Modell	7
2.1	Bewegungsgleichungen des Schiffes	7
2.2	Parameteridentifikation	12
3	Reglersynthese	17
3.1	Entwurf eines linearen Bahnzustandsreglers	18
3.2	Aufgabenstellung der Synthese des neuronalen Algorithmus	26
3.3	Struktursynthese der neuronalen Netze	29
3.3.1	Prinzipien der neuronalen Steuerung	29
3.3.2	Elemente des neuronalen Algorithmus	31
3.4	Mathematische Synthese der neuronalen Netze	33
3.4.1	Offline-Lernen	33
3.4.2	Online-Modus	40
4	Experimentelle Untersuchung	43
4.1	Messkonzept und Aufbau des Versuchsstands	43
4.2	Ruder- und Antriebsanlage	47
4.2.1	Drahtlose Datenübertragung	48
4.2.2	Aufbau der Servosteuerungplatine	49
4.2.3	Ansteuerung des Servos	52
4.2.4	Ansteuerung des Antriebsmotors	56
4.3	Elektromagnetisches Haltesystem	58
4.3.1	Halteeinrichtung	58

4.3.2	Elektrische Schaltung und Ansteuerung der Relais	60
4.4	Kamera und Traversierungssystem	61
4.5	Steuerungsprogramm	63
4.5.1	Benutzeroberfläche	63
4.5.2	SIMULINK-Modell	64
5	Ergebnisse, Auswertung und Diskussion	75
5.1	Simulationsergebnisse	75
5.2	Experimentelle Ergebnisse	78
6	Zusammenfassung und Ausblick	81
	Literaturverzeichnis	85
A	Schaltplan der Servosteuerungsplatine	91

Abbildungsverzeichnis

2.1	Geschwindigkeits- und Winkeldefinitionen des Modells mit drei Freiheitsgraden	8
2.2	Schematische Darstellung des dynamischen Kräftegleichgewichts am Schiffskörper	11
2.3	Gefilterter und ungefilterter Kurswinkel des Modells während des Zick-Zack-Manövers	13
2.4	Aufgezeichnete und simulierte Bahn (a) und Geschwindigkeit (b) des Modells für ein Zick-Zack-Manöver	15
3.1	Approximation des Bahnwinkelverlaufs durch ein I-Glied mit Verzögerung 1. Ordnung	19
3.2	Schematische Zustandsraumdarstellung	21
3.3	Eigenwerte des unregelten und geregelten Systems	21
3.4	Simulierter Bahnverlauf des linear approximierten Systems bei sprungförmiger Änderung der Sollbahn	23
3.5	Simulierter Bahnverlauf des linear approximierten Systems mit Vorfilter bei sprungförmiger Änderung der Sollbahn	24
3.6	Schematische Darstellung der linearen Regelstruktur	25
3.7	Simulierter Bahn- (links) und Ruderwinkelverlauf (rechts) des nichtlinear approximierten Systems mit Vorfilter bei sprungförmiger Änderung der Sollbahn	25
3.8	Struktur des dreischichtigen neuronalen Netzes	27
3.9	Paralleles neuronales Steuerungsschema	29
3.10	Steuerungsschema mit dem Neurocontroller des parallel arbeitenden Typs und dem Neuroemulator	30
3.11	Innere Struktur des Neuroemulators (a) und Neurocontrollers (b)	32

3.12	Architektur für das Offline-Lernen am Beispiel des Neuroemulators	34
3.13	Trainingsalgorithmus beim Offline-Lernen	37
3.14	Fehlersumme des Neuroemulators (a) und Neurocontrollers (b)	39
3.15	Trainingsergebnisse des Neuroemulators	39
3.16	Trainingsergebnisse des Neurocontrollers	40
3.17	Algorithmus zur Erzeugung des korrigierenden Steuerungssignals	42
4.1	Messkonzept	44
4.2	Realisierung des Messkonzeptes	45
4.3	Versuchsstand	47
4.4	Signallaufplan	49
4.5	Anschluss des Programmieradapters	51
4.6	Verschaltung eines Spannungsreglers 78XX	51
4.7	Ruderanlage mit Linearpotentiometer	54
4.8	Funktionalität des Timers zur PPM-Signalerzeugung	55
4.9	Regelungsschema für die Ruderansteuerung	56
4.10	Elektromagnetisches Haltesystem	59
4.11	Belegung der Pins des Parallel-Ports	60
4.12	Schaltung zur Signalverstärkung mit Bipolartransistor und Relais	61
4.13	Schaltungsschema zur Steuerung der Elektromagnete	61
4.14	Kamerabild: aufgenommen (links) und bearbeitet (rechts)	62
4.15	Grafische Benutzeroberfläche	64
4.16	SIMULINK-Modell	65
4.17	Diskretes Spektrum der auftretenden Frequenzen	67
4.18	Schematische Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen des Positionsmesswertes für verschiedene Störungen	68
4.19	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion und Mittelwert	69
4.20	Zeitlicher Verlauf des Ruderwinkels mit und ohne Kalman-Filter	73
5.1	Simulierte Bahn (a) und entsprechender Ruderwinkel (b) des mathematischen Modells mit Hilfe der entwickelten Regler	76
5.2	Aufgezeichnete Bahn des physikalischen Modells mit Hilfe der entwickelten Regler	78
5.3	Reproduzierbarkeit der Messfahrten	79

5.4	Aufgezeichnete Bahn (a) und entsprechender Ruderwinkel (b) des physikalischen Modells mit Hilfe der entwickelten Regler für das veränderte Schiff	80
A.1	Stromversorgung	91
A.2	Kommunikationsschnittstellen	92
A.3	Beschaltung des Mikrocontrollers	93

Tabellenverzeichnis

3.1	Netzparameter für das Offline-Training	38
4.1	Parameter des Modells des Frachtschiffes “Störtebeker”	46
4.2	Parameter der Bluetooth-RS232-Strecke	49