

Verteilte online und onboard Evolution und Adaption von Kontrollmechanismen für rekonfigurierbare modulare Roboter

Von der Fakultät Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung von

Dipl.-Inf. Florian Schlachter

aus Bietigheim-Bissingen

Hauptberichter: Prof. Dr. rer. nat. habil. Paul Levi
Mitberichter: Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Volker Claus

Tag der mündlichen Prüfung: 11. November 2014

Institut für Parallele und Verteilte Systeme der Universität Stuttgart

2014

BV-Forschungsberichte

herausgegeben von
Prof. Dr. rer. nat. habil. Paul Levi
Universität Stuttgart, IPVS
Lehrstuhl Praktische Informatik - Bildverstehen (BV)

Band 3/2014

Florian Schlachter

**Verteilte online und onboard Evolution
und Adaption von Kontrollmechanismen
für rekonfigurierbare modulare Roboter**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag
Aachen 2014

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.: Stuttgart, Univ., Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3305-2

ISSN 1868-3886

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

DANKSAGUNG

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in den EU-geförderten Projekten Symbion und Replicator in der Abteilung Bildverstehen am Institut für Parallel und Verteilte Systeme der Universität Stuttgart.

Ich möchte vor allem Herrn Prof. Levi für die Betreuung, zahlreichen fachlichen Anregungen und die Möglichkeit in seiner Abteilung zu arbeiten danken. Herrn Prof. Claus möchte ich für die Übernahme der Rolle als Zweitgutachter danken.

Allen Kollegen und beteiligten Studenten in der Abteilung und externen Projektpartnern danke ich für die gute und freundliche Zusammenarbeit in einem spannenden und interessanten Tätigkeitsfeld. Insbesondere möchte ich mich bei meinen Kollegen Christopher Schwarzer, Eugen Meister, Sergej Popesku, Serge Kernbach, Olga Kernbach, Tobias Dipper und Donny Sutantyo bedanken. Unserer Sekretärin Ute Gräter danke ich für die Unterstützung bei administrativen und organisatorischer Tätigkeiten.

Meiner Mutter und meinem Vater gilt mein herzlichster Dank für Ihre Unterstützung und Förderung während meiner gesamten Ausbildung und all der letzten Jahre.

Dank gilt schließlich meiner Frau und meinen Kindern, für die Geduld, Unterstützung und Aufmunterung bis zur Fertigstellung dieser Arbeit. Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	1
Summary	3
1 Einleitung	5
1.1 Von evolutionärer und modularer Robotik zu symbiotischen Organismen	5
1.2 Selbstorganisation als Ergebnis evolutionärer Prozesse	11
1.3 Zuverlässigkeit, Robustheit und Skalierbarkeit durch Adaption	13
1.4 Verteilte Online und Onboard Evolution in symbiotischen Organismen . .	15
1.5 Beitrag der Arbeit	17
1.6 Gliederung der Arbeit	20
I Grundlagen bioinspirierter Kontrollmechanismen für die Anwendung in modularer und evolutionärer Robotik	23
2 Neuronale Netze und Computermodelle für die Robotik	25
2.1 Biologisches Vorbild	25
2.2 McCulloch-Pitts Neuronen	27
2.3 Klassische künstliche neuronale Netze	27
2.4 Spiking Neuronen	28
2.5 Netzstrukturen	29
3 Evolution künstlicher neuronaler Netze	31
3.1 Genotype und Phenotype Repräsentation	33
3.2 Parametrische Mutation	35
3.3 Strukturelle Mutation	35
3.4 Rekombination	36
4 Splinebasierter Ansatz zur Steuerung von Robotern	39

II	Ansatz zur verteilten online und onboard Evolution für modulare Roboter	45
5	Streambasierte Middleware als Basis für bioinspirierte Anwendungen	47
5.1	Anforderungen und Architektur des Middleware Systems	48
5.2	Verfügbare Roboterhardware in Symbion und Replicator	50
5.3	Module und Software Architektur	56
5.4	Streambasierte Kommunikation und Kommunikationsstack	58
6	Integriertes Framework für verteilte online und onboard Evolution	69
6.1	Anforderungen verteilter online und onboard Evolution	69
6.2	Softwarearchitektur und Module	71
6.3	Evolutionäre Engine	72
6.4	Fitness und Selektion	73
6.5	Evolvables, Gene und Factories	74
6.6	EvoRoFConfig und Logger	76
6.7	Schnittstellen zu Robotern und Simulationsumgebungen	76
7	Erweiterungen für modulare Roboter durch rhythmische Mustergeneratoren	81
7.1	Anforderungen und Design rhythmischer Mustergeneratoren	82
7.2	Anwendung auf modulare Roboter	84
7.3	Modulation von Ausgabemustern	92
III	Anwendungen und Experimente	99
8	Inkrementelle Evolution und Adaption in dynamischen Umgebungen	101
8.1	Arenaaufbau und Roboter	102
8.2	Adaption und evolutionäre Operatoren	105
8.3	Inkrementelle Evolution	109
9	Koordinierte Organismusbewegung als Ergebnis eines evolutionären Selbstorganisationsprozesses	121
9.1	Simulative Experimente zur koordinierten Bewegung	122
9.2	Experimente mit echter Roboterhardware	128

IV Zusammenfassung	131
10 Zusammenfassung und Ausblick	133
10.1 Zusammenfassung	133
10.2 Ausblick	136
Abbildungsverzeichnis	139
Tabellenverzeichnis	141
Algorithmenverzeichnis	143
Literatur	145