
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 Symbrion 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