

Universität Hamburg  
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften  
Department Informatik

DIPLOMARBEIT

**Entwicklung hierarchischer  
Klassifikatoren beim Wabenbau von  
Insekten**

*Vorgelegt von:*  
Marius Zirngibl

Matrikelnummer: 5299377

*Betreuer:*  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Page  
Prof. Dr. Andreas G. Fleischer

Hamburg, 14. September 2009

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1	Zielsetzung . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>8</b>
2.1	Nestbau von Bienen und Papierwespen . . . . .	8
2.1.1	Stigmergie als Kommunikationsprinzip . . . . .	10
2.1.2	Nestbau in Insektenstaaten als Komplexes Adaptives System . . . . .	14
2.2	Evolutionstheorie . . . . .	15
2.3	Genetische Algorithmen . . . . .	18
2.3.1	Funktionsweise . . . . .	19
2.3.2	Schrittweiser Ablauf . . . . .	20
2.3.3	Codierung des Genotyps . . . . .	25
2.3.4	Schematheorem . . . . .	26
2.4	Learning Classifier Systems . . . . .	32
2.4.1	Credit Assignment: Reinforcement Learning . . . . .	39
2.4.2	Rule Discovery: Genetische Algorithmen . . . . .	40
2.4.3	ZCS: Zeroth-Level Classifier System . . . . .	41
2.4.4	XCS . . . . .	42
2.5	Komplexität der Problemstellung . . . . .	43
<b>3</b>	<b>Methode</b>	<b>45</b>
3.1	Benutzte Werkzeuge . . . . .	46
3.2	Konzept des Simulationsmodells . . . . .	46
3.3	Programmierung der Simulationsumgebung . . . . .	47
3.3.1	Regelsatz und Parameter . . . . .	47
3.4	Programmierung der Agentenobjekte . . . . .	49
3.4.1	Klassifikation und Manipulation der Umgebung . . . . .	51
3.4.2	Implementation der Klassifikatoren . . . . .	52
3.4.3	Erweiterung durch hierarchische Klassifikatoren . . . . .	54
3.4.4	Bewegung der Agenten . . . . .	54
3.5	Berechnung der Gesamtfitness der Wabenstruktur . . . . .	55
3.6	Implementation des Genetischen Algorithmus . . . . .	56
3.6.1	Parameter des Genetischen Algorithmus . . . . .	57
3.6.2	Ablauf des Genetischen Algorithmus . . . . .	58
3.7	Graphische Darstellung . . . . .	60

3.7.1	Darstellung des hexagonalen Gitters . . . . .	60
3.7.2	Darstellung der einzelnen Wabenzellen . . . . .	61
3.8	Durchführung der Simulationen . . . . .	62
<b>4</b>	<b>Simulationsergebnisse</b>	<b>64</b>
4.1	Ergebnisse mit einem Regelsatz und variablen Stärkewerten . . . . .	64
4.1.1	Ergebnisse ohne Beschränkung der Populationsgröße . . . . .	65
4.1.2	Ergebnisse mit beschränkter Populationsgröße . . . . .	65
4.1.3	Ergebnisse mit Crossover-Wahrscheinlichkeit . . . . .	68
4.1.4	Ergebnisse mit Mehrfachauswahl der Elternindividuen . . . . .	69
4.2	Simulation mit zwei hierarchisch geordneten Regelsätzen . . . . .	71
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>72</b>
5.1	Analyse der Ergebnisse . . . . .	72
5.2	Begriffsdefinitionen . . . . .	72
5.3	Bewegungsmodell der Agenten . . . . .	73
5.4	Fokus des Genetischen Algorithmus . . . . .	73
5.5	Größe des Wahrnehmungsbereiches . . . . .	75
5.6	Simulationsdauer . . . . .	75
5.7	Vergleich mit thematisch verwandten Arbeiten . . . . .	76
<b>Anhang</b>		<b>78</b>
<b>A</b>	<b>MATLAB-Quellcode</b>	<b>78</b>
A.1	simulationsumgebung.m . . . . .	78
A.2	bauagent.m . . . . .	84
A.3	classifier.m . . . . .	95
A.4	fitness.m . . . . .	98
A.5	EckPunkte.m . . . . .	100
A.6	strengthga.m . . . . .	101
A.7	nachbarn.m . . . . .	106
A.8	plotgitter.m . . . . .	107
A.9	plotwabe.m . . . . .	108
A.10	plotwabem.m . . . . .	110
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>111</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>112</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>113</b>