

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Fuzzy-Methoden –

Gegenstandsbedeutung und Zielsetzung	1
1.1 Problematik und Funktionalität der Vagheit	2
1.1.1 Philosophische Abhandlungen über Vagheit und das Projekt der „idealen Sprache“	2
1.1.2 Relationen zwischen vagen Kategorien und ihren Elementen	11
1.1.3 Zweckmäßigkeit von Vagheit und Präzision	14
1.2 Relevanz und Spektrum der Fuzzy-Mengentheorie	18
1.2.1 Begriffserläuterungen	18
1.2.2 Zur wachsenden Bedeutung der Modellierung imperfekten Wissens	25
1.2.3 Fuzzy-Mengentheorie – eine Skizze des Forschungs- und Anwendungsspektrums	29
1.3 Motivation und Zielsetzung	41

Kapitel 2

Das Konzept der unscharfen Menge –

Basisdefinitionen und Darstellungsformen	47
2.1 Grundbegriffe, Notationen und Gesetze der klassischen Mengenlehre im Überblick	48
2.2 Eigenschaften und Darstellungsformen unscharfer Mengen	54
2.2.1 Charakterisierung unscharfer Mengen über Zugehörigkeitsfunktionen	54
2.2.2 Grundlegende Mengenrelationen und Kenngrößen unscharfer Mengen	63
2.3 Typen unscharfer Mengen	71

Kapitel 3

Mathematische Eigenschaften und Gegenstandsadäquatheit

elementarer Fuzzy-Operatoren	75
3.1 Zadehs Verallgemeinerung elementarer Mengenoperationen	76
3.2 Alternative unscharfe Mengenoperatoren	82
3.2.1 t -Normen und t -Conormen	83
3.2.2 „Kompensatorische“ Operatoren	87
3.3 Aggregationscharakteristika unscharfer Mengenoperatoren im Überblick	93
3.4 Auswahl und Validierung unscharfer Mengenoperatoren	104
3.4.1 Bewertungskriterien für unscharfe Mengenoperatoren	105

3.4.2	Empirische Verfahren zur Auswahl und Validierung unscharfer Mengenoperatoren	109
-------	--	-----

Kapitel 4

	Fuzzy-Arithmetik auf der Basis des Erweiterungsprinzips	127
4.1	Definition und Erläuterung des Erweiterungsprinzips	128
4.2	Unschärfe Quantitäten, Intervalle und Zahlen	133
4.3	Erweiterung arithmetischer Grundoperationen auf unscharfe Quantitäten	138
4.4	Effiziente Verfahren für unscharfe Rechenoperationen mit LR-Intervallen	144
4.5	Zur Beurteilung der Fuzzy-Arithmetik	151

Kapitel 5

Verknüpfungen, Eigenschaften und Typen unscharfer Relationen

5.1	Klassische Relationen – Operationen, Eigenschaften und Typen im Überblick	156
5.2	Fuzzy-Relationen – Begriffsdefinition und Repräsentationsformen	160
5.2.1	Definition und Erläuterung des Begriffs Fuzzy-Relation	160
5.2.2	Repräsentationsformen unscharfer Relationen	161
5.3	Verknüpfungen unscharfer Relationen	166
5.3.1	Gewöhnliche Mengenoperationen über Fuzzy-Relationen	166
5.3.2	Spezielle relationale Operationen über Fuzzy-Relationen	167
5.4	Eigenschaften unscharfer Relationen	175
5.5	Typen unscharfer Relationen	177
5.5.1	Nachbarschaftsrelationen und Nachbarschaftsklassen	177
5.5.2	Ähnlichkeitsrelationen und Ähnlichkeitsklassen	180
5.5.3	Unschärfe Ordnungsrelationen	184

Kapitel 6

Ansätze der Modellierung linguistischer Hecken

6.1	„Linguistische Hecken“ – eine Begriffserläuterung	190
6.2	Zadehs Grundlegung der Modellierung linguistischer Hecken	194
6.2.1	Grundideen und elementare Operatoren	194
6.2.2	Haupttypen linguistischer Hecken	199
6.3	Vorschläge zur Modellierung linguistischer Hecken vom Typ I	201
6.3.1	Zadehs Modellierungsvorschläge	201
6.3.2	Kritiken, Alternativen und Ergänzungen zu Zadehs Vorschlägen	204
6.4	Vorschläge zur Modellierung linguistischer Hecken vom Typ II	218
6.4.1	Modifikationen der Gewichtskoeffizienten konvexer Kombinationen unscharfer Bedeutungskomponenten	218
6.4.2	Algebraische Verknüpfungen klassifizierter unscharfer Bedeutungskomponenten	220
6.4.3	Grenzen der vorgeschlagenen Modellierungsansätze und Erweiterungsvorschläge	223

Kapitel 7

Das Konzept der linguistischen Variable	227
7.1 Linguistische Variablen und ihre Wertemengen	228
7.1.1 Typen und Aufbau linguistischer Variablen	228
7.1.2 Eine restriktive ATN-Grammatik für linguistische Variablen	234
7.1.3 Linguistische Standardvariablen und Standardwerte	237
7.1.4 Sprachexterne und sprachinterne Bedeutungsaspekte linguistischer Variablenwerte	244
7.2 Die Problematik der linguistischen Approximation und Methoden ihrer Bearbeitung	248
7.2.1 Der Begriff der linguistischen Approximation	248
7.2.2 Distanzmaße zur linguistischen Approximation	251
7.2.3 Verfahren der linguistischen Approximation	253
7.2.4 Offene Probleme und weiterführende Hinweise	257

Kapitel 8

Approximatives Schließen auf der Basis des generalisierten Modus ponens	263
8.1 Grundkonzepte der Possibilitätstheorie	264
8.1.1 Possibilitätsverteilungen	265
8.1.2 Possibilitäts- und Notwendigkeitsmaße als spezielle Fuzzy-Maße	268
8.2 Zadehs Grundregeln approximativen Schließens	270
8.3 Der generalisierte Modus ponens als Spezialfall der Verkettungsschlußregel	274
8.3.1 Verkettungsschlußregel	275
8.3.2 Der generalisierte Modus ponens	276
8.4 Mehrwertige Implikationsoperatoren zur Modellierung unscharfer Inferenzschemata	281
8.4.1 Algebraische Anforderungen an Implikationsoperatoren	281
8.4.2 Typologien von Fuzzy-Regeln auf der Basis mehrwertiger Implikationsoperatoren	288
8.5 Fuzzy-Regelsysteme auf der Grundlage des generalisierten Modus ponens	293
8.5.1 Fuzzy-Regelsysteme als Relationalgleichungssysteme	293
8.5.2 Ein effizientes Verfahren zur Anwendung des generalisierten Modus ponens auf der Basis der Gödel-Implikation	297
8.5.3 Hinweise zu Problemen und alternativen Modellierungsansätzen	301

Kapitel 9

Zadehs Fuzzy-Logik und possibilistische Semantiktheorie	303
9.1 Hauptmerkmale von Zadehs Fuzzy-Logik	304
9.2 Zadehs Testscore-Semantik – eine Referenzsemantik auf der Basis von Possibilitätsverteilungen	306
9.2.1 Übersetzungsregeln, Testwerte und Testprozeduren zur Bedeutungsrepräsentation natürlichsprachlicher Aussagen	308

9.2.2	Das Konzept einer kanonischen Form	312
9.3	Inferenzregeln in Zadehs Fuzzy-Logik	313
9.3.1	Kategoriale Inferenzregeln	313
9.3.2	Fuzzy-Syllogismen	318
9.4	Zadehs dispositionale Logik zur Modellierung des Common Sense	323
9.4.1	Die Repräsentation von Dispositionen über die Explikation unscharfer Quantoren	324
9.4.2	Inferenzen mit Dispositionen	327
9.5	Zur Beurteilung von Zadehs Fuzzy-Logik und Testscore-Semantik	329

Kapitel 10

„Fuzzy-Pattern-Matching“ –

Maße der Kompatibilität und Vergleichsalgorithmen	333
10.1 Grundkonzepte und Variationen der symbolischen Musterverarbeitung ...	334
10.2 „Fuzzy-Pattern-Matching“ auf der Basis des Erweiterungsprinzips	339
10.2.1 Unschärfe Wahrheitswerte und ihre Verknüpfung mit Hilfe des Erweiterungsprinzips	339
10.2.2 Die Berechnung unscharfer Wahrheitswerte für komplexe Fuzzy-Prädikate und wahrheitsqualifizierte Fuzzy-Daten	342
10.3 „Fuzzy-Pattern-Matching“ auf der Basis von Possibilitäts- und Notwendigkeitsmaßen	345
10.3.1 Possibilität und Notwendigkeit als Kompatibilitätsmaße – Definitionen und Erläuterungen	345
10.3.2 Die Berechnung der „Kompatibilität“ komplexer Daten und Muster	348
10.3.3 Formeln zur effizienten Berechnung der bedingten Possibilität und Notwendigkeit für trapezförmige Zugehörigkeitsfunktionen	350
10.3.4 Erweiterungen des Possibilitäts- und Notwendigkeitsmaßes	355
10.3.5 Fuzzy-Diskriminationsbäume	360

Kapitel 11

Methoden der Fuzzy-Regelungstechnik	371
11.1 Allgemeine Merkmale der klassischen Regelungstechnik	372
11.2 Fuzzy-Regler auf der Basis „kognitiver Modelle“	376
11.2.1 Zur Herkunft des Konzepts „linguistische Kontrollregeln“	377
11.2.2 Mamdanis und Assilians Experiment der Regelung einer Dampfmaschine mit Hilfe linguistischer Kontrollregeln	378
11.2.3 Verarbeitungsmodelle und Inferenzmethoden „kognitiver“ Fuzzy-Regler	383
11.2.4 Defuzzifizierungsmethoden	388
11.2.5 Funktionsaufbau, Entwurf und Optimierung „kognitiver“ Fuzzy-Regler	392
11.3 Fuzzy-Regler auf der Basis „operativer Modelle“	396
11.3.1 Fuzzy-Kontrollregeln zur Beschreibung „operativer Modelle“	396
11.3.2 Die Verarbeitung „operativer Fuzzy-Kontrollregeln“	398
11.4 Leistungsmerkmale, Probleme und Entwicklungslinien der Fuzzy-Regelungstechnik	404

11.4.1	Fuzzy-Regelungstechnik und konventionelle Regelungstechnik im Vergleich	404
11.4.2	Entwicklungsfelder der Fuzzy-Regelungstechnik	407

Kapitel 12

	Unschärfe- und Unsicherheitsmodellierung in „Fuzzy-Produktionensystemen“	411
12.1	Produktionensysteme und ihre Verarbeitungsmodelle	412
12.1.1	Begriffsherkunft und Sprachgebrauch	412
12.1.2	Aufbau und Funktionsweise von Produktionensystemen	415
12.2	Vorwärtsverkettende Systeme	422
12.2.1	Die Propagierung von „Konfidenzwerten“ bei serieller und „paralleler“ Regelausführung in FLOPS	422
12.2.2	Approximatives analogisches Schließen mit punkt- und intervallwertigen Zugehörigkeitsfunktionen	425
12.3	Rückwärtsverkettende Systeme	432
12.3.1	Possibilistische Inferenzschemata zur Verrechnung von Unsicherheit und Ungenauigkeit in SPII	432
12.3.2	Die Verarbeitung unscharfer Unsicherheiten und unsicherer Unschärfen mit Hilfe der Fuzzy-Arithmetik und dem generalisierten Modus ponens	436
12.4	Vorwärts- und rückwärtsverkettende Systeme	442
12.4.1	Die Propagierung einfacher und wahrheitsqualifizierter Unschärfen mit Hilfe des Erweiterungsprinzips	442
12.4.2	Lokale Logiken zur Verarbeitung linguistischer Unsicherheiten in MILORD	445
12.4.3	Übertragung und Entkopplung von „Wahrheitsgraden“ in FMUFL	448

Kapitel 13

	Unsichere und unscharfe Deduktionen von bewerteten Hornklauseln	451
13.1	Basiskonzepte logikorientierter Programmierung: Hornklauseln, Unifikation und Resolution	452
13.1.1	Syntax und Semantik der Prädikatenlogik	453
13.1.2	Logisches Schließen in der Prädikatenlogik	456
13.2	Die Support-Logik von Baldwin	461
13.2.1	Support-Paare und ihre Deutung	462
13.2.2	Allgemeine Beschränkungen der Support-Verknüpfung	463
13.2.3	Das Multiplikationsmodell der Support-Logik	465
13.2.4	Evidenzverknüpfung aufgrund multipler Ableitungswege	466
13.2.5	Semantische Unifikation	468
13.2.6	Deutung der Support-Logik über ein Gruppen-Votierungsmodell	468
13.3	Deduktionen über f -Hornklauseln nach Li und Liu	470
13.3.1	f -Hornklauseln: Aufbau und Verknüpfungsoperationen	470
13.3.2	Prozedurale Interpretation von f -Hornklauseln	471
13.4	Die possibilistische Logik von Dubois und Prade	474

13.4.1	Axiomatische Grundlagen	475
13.4.2	Erweiterte Resolutionsprinzipien auf der Basis des Notwendigkeits- und Possibilitätsmaßes	477
13.4.3	Inkonsistenz, Korrektheit und Vollständigkeit	481
13.4.4	Possibilistische Resolution mit mehr oder minder widersprüchlichen Informationsquellen	487

Kapitel 14

Leistungsmerkmale und Defizite von

Fuzzy-Programmiersprachen	491
14.1 Merkmalraum und Darstellungsaspekte	492
14.1.1 Zu allgemeinen Beurteilungskriterien für Software und Programmiersprachen	492
14.1.2 Programmierstile, Verarbeitungsmodelle und Arten von Programmiersprachen	494
14.1.3 Merkmale von Programmiersystemen der KI	498
14.1.4 Spezielle Merkmale von Fuzzy-Programmiersprachen und Fuzzy-Programmiersystemen	500
14.1.5 Untersuchungs- und Darstellungsprobleme	507
14.2 FUZZY – Programmieren mit mustergesteuerten Prozeduren und „Prozedur-Dämonen“	512
14.2.1 Zur Herkunft von FUZZY: PLANNER, MICRO-PLANNER, FUZZY-PLANNER	512
14.2.2 Grundkonzepte von FUZZY: mustergesteuerte Prozeduraufrufe über Fuzzy-Assoziationsnetzen	515
14.2.3 Ansätze der Repräsentation imperfekten Wissens in FUZZY	521
14.2.4 Konzeptionelle Mängel von FUZZY	528
14.3 Relationenorientierte Sprachen	529
14.3.1 FS-LISP	530
14.3.2 FLISP	533
14.3.3 FOPS, MONOPL und MONOLIS	538
14.4 Regelorientierte Sprachen	542
14.4.1 REVEAL	542
14.4.2 SPII-1 und SPII-2	544
14.4.3 FLOPS	549
14.4.4 FMUFL	554
14.4.5 FPS	561
14.4.6 SYSTEM Z-11	564
14.4.7 MILORD	568
14.5 Logikorientierte Sprachen	572
14.5.1 FPROLOG	572
14.5.2 FS-PROLOG	574
14.5.3 F-PROLOG	576
14.5.4 FRIL	581
14.6 Resümee	588

Kapitel 15

Architektur und Funktionalität von CLIFS	593
15.1 Anforderungen	594
15.2 Architekturprinzipien	600
15.2.1 Charakteristika und Nutzungsformen von (reflexiven) Metaebenen-Architekturen	600
15.2.2 CLOS als Grundlage und architektonisches Leitbild von CLIFS	609
15.3 Grundelemente und Systemkomponenten	616
15.3.1 Grundelemente	616
15.3.2 Systemkomponenten	630
15.4 Definitionsmakros – Konzeption und Syntaxbeschreibungen	636
15.4.1 Das Konzept „generischer“ Definitionsmakros	636
15.4.2 Syntaxbeschreibungen der Definitionsmakros	638
15.5 Funktionsüberblick	649
15.6 Resümee und Ausblick	657
<i>Glossar mathematischer Symbole</i>	663
<i>Literatur</i>	667
<i>Tabellenverzeichnis</i>	699
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	703
<i>Sachverzeichnis</i>	707