

Inhaltsverzeichnis

1. MATHEMATISCHE GRUNDBEGRIFFE

Einleitung 19

1.1. Mengen 20

Mengentheoretische Notationen, spezielle Mengen, Bildung neuer Mengen / Boolesche Operationen, Potenzmenge, Boolesche Algebren / Paare, n-Tupel, Folgen, kartesische Produkte / Vektoren, Matrizen / Vereinfachende Schreibweisen

1.2. Korrespondenzen und Abbildungen 27

Definition und Bildung von Korrespondenzen / Abbildungen, Eigenschaften von Abbildungen / Charakteristische Funktion, Projektionen / Diagramme

1.3. Relationen und Graphen 31

Relationen und Korrespondenzen / Gerichtete Graphen, ihre Darstellung durch Pfeildiagramme und Matrizen / Kantenbewertete und eckenbewertete gerichtete Graphen / Eigenschaften von Relationen / Hüllen von Relationen, das Verfahren von Warshall / Abschluß unter Operationen / Geordnete Mengen, Verbände / Äquivalenzrelationen, Äquivalenzklassen, Abbildungssatz

1.4. Monoide und Homomorphismen 37

Halbgruppen, Monoide / Unterhalbgruppen, Untermonoide, Erzeugendensysteme / Gruppen, Halbringe, Matrizen und Vektoren über Halbringen / Homomorphismen, Isomorphismen, Kongruenzrelationen, Homomorphiesatz / Freie Halbgruppen, freie Monoide / Das freie Monoid der Worte über einer Menge / Homomorphismen und Kürzungsregeln

1.5. Beweismethoden 45

Indirekter Beweis / Dedekindsches Schubfächerprinzip / Beweis mit vollständiger Induktion

Literatur zu 1. 49

2. DER MEALY-AUTOMAT (MLA)

2.1. Einführendes Beispiel 50

Meßvorrichtung zur Bestimmung eines Umdrehungssinnes

2.2. Definition, ein Beispiel und ein Gegenbeispiel 54

Definition des MLA / Serienaddierer / Unmöglichkeit der Multiplikation

<u>2.3.</u> Leistung, Äquivalenz, Reduktion	56
<i>Leistung und Äquivalenz von Zuständen bzw. MLA'n / Konstruktion reduzierter MLA'n</i>	
2.4. Zur Bestimmung der Zustandsäquivalenz	61
<i>Einfaches Tabellenverfahren</i>	
<u>2.5.</u> Das Verfahren von Hopcroft/Gries	64
<i>Schnelles Verfahren zur Bestimmung der Zustandsäquivalenz</i>	
2.6. Unterscheidbarkeit von Eingabefolgen	80
<i>Eingabeunterscheidende MLA'n / Länge unterscheidbarer Eingabefolgen / Periodizitätssatz</i>	
2.7. Mealy-Automaten mit endlichem Gedächtnis	86
<i>Definition, Gegenbeispiel / Gedächtnislänge und Zustandsanzahl</i>	
Aufgaben	91
<i>U. a. Konstruktion spezieller Automaten, Satz von Raney über Automatenabbildungen, MLA-Transduktionen, verschiedene Äquivalenz- und Reduziertheitsbegriffe, Übungsbeispiele zu 2.4. und 2.5., MLA'n mit Fundamenteleigenschaft, Gedächtnisbestimmung</i>	
Literaturhinweise und historische Bemerkungen	96
Literatur zu 2.	97
3. DER MOORE-AUTOMAT (MrA)	
<u>3.1.</u> Einführendes Beispiel	100
<i>Einfacher BNF-Syntaxanalysator</i>	
<u>3.2.</u> Definition und erster Vergleich mit dem Mealy-Automaten	104
<i>Eingabeunabhängige MLA'n / Als MrA'n auffassbare MLA'n</i>	
<u>3.3.</u> Leistung, Äquivalenz, Reduktion	107
<i>Übertragung der Begriffe und Resultate aus 2.3. / Moorescher Unbestimmtheitssatz</i>	
<u>3.4.</u> Gleichwertigkeit von Moore- und Mealy-Automaten	109
<i>Konstruktion eines MLA zu einem MrA und eines MrA zu einem MLA</i>	

3.5. Weitere Beispiele	112
<i>Der Konjugiertenklassen-Automat / Überlaufkontrolle bei Addition / Vereinfachung von 3.1.</i>	
<u>3.6.</u> Homomorphismen und Isomorphismen	116
<i>Verschiedene Homomorphismusbegriffe / Zustandsminimale MrA^n / Eindeutigkeit des reduzierten MrA</i>	
3.7. Approximation von Abbildungen	120
<i>Nicht durch MrA^n darstellbare Abbildungen / Zustandsanzahlen approximierender MrA^n</i>	
<u>3.8.</u> Experimente	128
<i>Das Spiel "Superhirn" als Diagnoseexperiment / Klassifizierung von Experimenten / Existenz-, Längen- und Konstruktionsproblem</i>	
3.9. Einfache diagnostische Vorgabeexperimente mit Zusatzinformation	134
<i>Behandlung der drei Probleme aus 3.8. für Anfangs- und Endidentifizierungsexperimente / Ein adaptives Verfahren</i>	
Aufgaben	147
<i>U.a. Konstruktionen spezieller Automaten, detaillierter Vergleich von MrA^n und MLA^n, Übertragung von Resultaten aus 2., weitere Reduktionsbegriffe, streng zusammenhängende MrA^n, Nichteindeutigkeit minimaler MrA^n mit gleicher sequentieller Relation, darstellbare und nichtdarstellbare Abbildungen, Erkennbarkeit rationaler Zahlen</i>	
Literaturhinweise und historische Bemerkungen	154
Literatur zu 3.	156
4. DER UNVOLLSTÄNDIGE MEALY-AUTOMAT (UM1A)	
<u>4.1.</u> Einführende Beispiele	158
<i>Serienaddierer mit einer Eingabeleitung / LR(1)-Analyzer / Decodierer für einen Präfix-Code</i>	
<u>4.2.</u> Definition, verschiedene Leistungs- und Äquivalenzbegriffe, Verträglichkeit	167
<i>Definition des UMLA / L-, U- und V-Leistung sowie -Äquivalenz / Verträglichkeit von Zuständen, Entscheidungsverfahren</i>	

4.3. Vervollständigung und Reduktion	175
<i>Übertragung der Resultate aus 2.3. und 3.6. für den Fall der U-Leistung</i>	
<u>4.4.</u> Überdeckung und Minimierung	180
<i>Überdeckungsbegriff, zugehöriges Minimierungsproblem / Existenz verschiedener Minimaler / Zustandsaufspaltung / Transformationen und Überdeckungen / Eindeutigkeit von Transformationen / Irredundante Überdeckungen</i>	
4.5. Algebraische Formulierung des Minimierungsproblems	190
<i>Spezielle Mengensysteme auf einem UMLA / Hüllenoperatoren auf Mengensystemen / Satz von Paull/Unger / Minimierungsverfahren von Grasselli/Luccio</i>	
Aufgaben	201
<i>U.a. weitere Beispiele, UMLA'n und Codierungen, informationsverlustlose Automaten, weitere Minimierungsverfahren, Eigenschaften von Überdeckungen, Transformationen, Mengensystemen</i>	
Literaturhinweise und historische Bemerkungen	207
Literatur zu 4.	209
5. DER RABIN-SCOTT-AUTOMAT	
<u>5.1.</u> Einführende Beispiele	211
<i>Verklemmungen bei parallelen Prozessen / Wertsprachen von Programmschemata / Klassifizierung von Worten / Syntaxanalyse</i>	
<u>5.2.</u> Der nichtdeterministische Rabin-Scott-Automat (NRSA)	223
<i>Verschiedene Typen von NRSA'n / Das Transitionsmonoid eines alphabetischen NRSA / Rechtslineare Grammatiken</i>	
<u>5.3.</u> Leistung, akzeptable Mengen	232
<i>Leistung eines NRSA, akzeptable und rationale Mengen / Äquivalenz der Begriffe rational und akzeptabel, Konstruktionsverfahren</i>	
<u>5.4.</u> Deterministische Automaten und erkennbare Mengen	243
<i>Definition des deterministischen NRSA (DRSA) und des vollständigen DRSA (RSA) / Erkennbare Mengen, Äquivalenz von akzeptabel und erkennbar / Beziehungen zwischen Leistungen von RSA'n, UMLA'n und MrA'n / Satz vom iterierenden Faktor, uvw-Theorem, nichtakzeptable Mengen</i>	

5.5.	Aquivalenz der verschiedenen Begriffe	254
	<i>Aquivalenz von NRSA'n / Leistungsgleichheit von RSA'n und NRSA'n, Äquivalenz der Begriffe rational und erkennbar / Abgeschlossenheit unter den Booleschen Operationen und Quotientenbildung / Nichtakzeptierbarkeit der Quadratzahlen / Entscheidbarkeitsresultate</i>	
5.6.	Gleichungen und Gleichungssysteme	263
	<i>Gleichungen zwischen rationalen Mengen / Das Gleichungssystem eines NRSA / Lineare Gleichungssysteme, Kriterien für Eindeutigkeit der Lösung, Darstellung aller Lösungen</i>	
5.7.	Rationale Ausdrücke	275
	<i>Syntax und Semantik rationaler Ausdrücke und rationaler Gleichungen / Axiomensystem für gültige rationale Gleichungen, Beweise im Axiomensystem</i>	
	Aufgaben	289
	<i>U.a. weitere Beispiele von NRSA'n, von akzeptablen, rationalen, erkennbaren sowie von nichtakzeptablen Mengen / Verfahren zur Bestimmung des Transitionsmonoids / Rationale Substitutionen / Algorithmus von McNaughton/Yamada, eindeutig rationale Mengen / Lokal testbare und stückweise testbare Mengen, asynchrone RSA'n / Eigenschaften der Quotientenoperation, Abschneideoperationen / Ein weiteres einem RSA zugeordnetes Gleichungssystem / Vollständigkeit des Axiomensystems für rationale Gleichungen</i>	
	Literaturhinweise und historische Bemerkungen	299
	Literatur zu 5.	303
6.	UMFORMUNGEN VON AUTOMATEN	
6.1.	Einführende Beispiele	308
	<i>NRSA'n mit wesentlich weniger Zuständen als äquivalente DRSA'n</i>	
6.2.	Umformung eines NRSA in einen RSA	313
	<i>Entfernen überflüssiger Zustände sowie spontaner Transitionen / Umformung in einen alphabetischen, vollständigen Automaten / Die Potenzautomatenkonstruktion</i>	
6.3.	Minimierung deterministischer Automaten	320
	<i>Leistung und Äquivalenz von Mengen von Zuständen / Lokale Leistung und Äquivalenz von NRSA'n / Die Begriffe reduziert, N-minimal, D-minimal, minimal / Entscheidbarkeitsaussagen / Verfahren zur Bestimmung aller Paare</i>	

äquivalenter Zustände eines RSA, Konstruktion des minimalen RSA / Eindeutigkeit des minimalen DRSA/ Die Optimalität der Potenzautomatenkonstruktion

6.4.	Das Minimierungsproblem für $NRSA^n$	329
	<i>Beziehungen zwischen verschiedenen Minimalitätsbegriffen, Beispiele / Nichtisomorphe äquivalente N-minimale $NRSA^n$</i>	
6.5.	Methoden zur Verringerung der Zustandsanzahl	336
	<i>Behandlung einer Reihe von Konstruktionen anhand von Beispielen</i>	
6.6.	Quotienten und Ableitungen	341
	<i>Zusammenhang der lokalen Leistung eines $NRSA$ mit der des äquivalenten D-Minimalen sowie mit den Linksquotienten der Leistung des $NRSA$ / Linksableitungen rationaler Ausdrücke, charakteristisches Gleichungssystem eines rationalen Ausdrucks</i>	
	Aufgaben	350
	<i>U.a. weitere Beispiele, weitere Minimierungsverfahren für RSA^n, Übertragung des Homomorphiebegriffs und der Resultate aus 3.6. auf RSA^n, Charakterisierung der akzeptablen Mengen durch Rechts- und Linkskongruenzrelationen, Rechtsableitungen rationaler Ausdrücke, Ähnlichkeit rationaler Ausdrücke, Übertragung von Resultaten aus 5.7. und 6.6., Darstellung der Leistung eines MrA als n-Tupel rationaler Ausdrücke, Konstruktion eines MrA zu einem solchen n-Tupel, erweiterte rationale Ausdrücke</i>	
	Literaturhinweise und historische Bemerkungen	358
	Literatur zu 6.	360
7.	WEITERE CHARAKTERISIERUNGEN AKZEPTABLER MENGEN	
7.1.	Berechnungsfolgen von Programmen, Iarov-Schemata	362
	<i>Beschreibung des Ablaufs von Programmen durch Automaten</i>	
7.2.	Myhill-Graphen	368
	<i>Darstellung rationaler Mengen durch eckenbewertete gerichtete Graphen / Syntaxdiagramme</i>	
7.3.	Standardmengen	374
	<i>Akzeptable Mengen als homomorphe Bilder von Standardmengen / Rationalität der Standardmengen / Medvedev-Costich-Mengen</i>	

7.4. Der Zweiwegautomat (ZWA)	379
<i>Beispiel eines Zweiwegautomaten mit wesentlich weniger Zuständen als ein äquivalenter RSA / Gleichwertigkeit von ZWA'n und RSA'n</i>	
7.5. Automaten mit Vorausschau	388
<i>Beispiele für eindeutig, mehrdeutig bzw. mit k Zeichen Vorausschau akzeptierende NRSA'n / Definition entsprechender Automatentypen, Entscheidbarkeitsaussagen / Schranken für die Länge der Vorausschau</i>	
7.6. Matrizendarstellungen	394
<i>Darstellung rationaler Mengen durch Mengen von Booleschen Matrizen oder von Matrizen über $\mathbb{I}\mathbb{N}$ / Zusammenhang mit den Resultaten aus 7.5.</i>	
<u>7.7.</u> NRSA'n mit einelementigem Eingabealphabet	396
<i>Rationale Mengen, letztlich periodische Zahlenmengen und arithmetische Progressionen / Beispiele nichtakzeptabler Mengen</i>	
Aufgaben	399
<i>U.a. Iarov-Schemata und Programmschemata, verallgemeinerte Myhill-Graphen und homomorphe Bilder rationaler Mengen, Eigenschaften von Standardmengen, pseudo-rationale Mengen, Zweiwegautomaten mit Bandbegrenzungsmarken, Verallgemeinerung des Beispiels aus 7.4., weitere ähnliche Beispiele, weitere Charakterisierungen letztlich periodischer Zahlenmengen, Beispiele nichtrationaler Mengen</i>	
Literaturhinweise und historische Bemerkungen	404
Literatur zu 7.	406
8. TRANSDUKTOREN UND ZWEIBANDAUTOMATEN	
<u>8.1.</u> Rückblick	407
<i>Vergleich der bisher behandelten Automatentypen</i>	
<u>8.2.</u> Der α -Transduktor	410
<i>Die Ginsburgsche sequentielle Maschine (GSM) / GSM mit akzeptierenden Zuständen (α-GSM), nichtdeterministische α-GSM / α-Transduktoren, Charakterisierung von α-Transduktorabbildungen / Anwendungen des Charakterisierungssatzes</i>	

- 8.3. Unentscheidbarkeit der Äquivalenz von α -Transduktoren 420
Entscheidbarkeit der Äquivalenz von GSM'n / Unentscheidbarkeit der Äquivalenz von NGSM'n / Postsches Korrespondenzproblem
- 8.4. Der Zweiband-Elgot-Mezzi-Automat (2-EMA) 426
Definition des 2-EMA / Gleichwertigkeit von 2-EMA'n und α -Transduktoren / Darstellung eines 2-EMA als NRSA / Eigenschaften der Leistungen von 2-EMA'n, rationale Teilmengen von $F(X) \times F(Y)$, Rationalität der Projektionen, Abschlußeigenschaften / Akzeptierung von Worten durch 2-EMA'n, lineare Grammatiken
- 8.5. Der Zweiband-Elgot-Eilenberg-Shepherdson-Automat (2-EESA) 435
2-EESA'n als 2-EMA'n mit spezieller Lesevorschrift / Charakterisierung der Leistungen von 2-EESA'n durch spezielle rationale Mengen / Nichtabgeschlossenheit unter Booleschen Operationen und Produktbildung
- 8.6. Deterministische Zweiband-Automaten 439
Deterministische 2-EMA'n (D2-EMA), Beispiele, Eigenschaften / Unentscheidbarkeit der Determiniertheit / Alphabetische D2-EMA'n, Nachweis der geringeren Leistungsfähigkeit / Vollständige D2-EMA'n (VD2-EMA'n), Beispiele, Charakterisierungen der Leistungen, erkennbare Teilmengen von $F(X) \times F(Y)$
- 8.7. Der Zweiband-Rabin-Scott-Automat (2-RSA) 452
Gleichwertigkeit von unvollständigen und vollständigen 2-RSA'n sowie von 2-EMA'n und nichtdeterministischen 2-RSA'n / Eigenschaften der Menge der Leistungen von 2-RSA'n, Nichtabgeschlossenheit unter den Booleschen Operationen sowie gegenüber Produkt- und Untermonoidbildung, Unvergleichbarkeit mit den Leistungen von 2-EESA'n und VD2-EMA'n / Unentscheidbarkeit der Disjunktheit der Leistungen zweier 2-RSA'n
- 8.8. Verallgemeinerungen 460
Mehrbandautomaten, Mehrkopfautomaten / Nichtdeterministische, deterministische und vollständige Automaten über Monoiden / Rationale und erkennbare Teilmengen von Monoiden / Konstruktion spezieller Monoide
- Aufgaben 468
U.a. Eigenschaften von GSM- und von α -GSM-Abbildungen, Verschärfung des Satzes von Nivat, Eigenschaften rationaler Transduktionen, Beispiele von rationalen

Transduktionen, Zweiwegautomaten und rationale Transduktionen, Beispiele für nicht von 2-EMA'n akzeptierte Mengen, Übertragung des Satzes vom iterierenden Faktor, Verallgemeinerung der Ergebnisse aus 8.5., Durchschnitte erkennbarer Teilmengen mit rationalen Teilmengen eines Monoids, Nichtentscheidbarkeit der Frage, ob eine rationale Menge Leistung eines 2-RSA ist, Automaten mit Bandendemarkierungen

Literaturhinweise und historische Bemerkungen	477
Literatur zu 8.	480
SACHVERZEICHNIS	483