

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Verteilte Systeme	3
1.2 Prozesse und Ereignisse	6
1.3 Synchronisation und Kommunikation	8
1.3.1 Synchronisation	8
1.3.2 Kommunikation	10
1.4 Programmiersprachen für verteilte Systeme	12
1.4.1 Verteilte Programmiersprachen	12
1.4.2 Objektorientierte Parallelität, Actor-Modell und Atommodell	14
1.4.3 Die Sprache CSSA	17
1.4.4 Ein verteiltes Beispielprogramm	22
1.5 Verteilte Algorithmen	26
1.5.1 Beobachtungen am ggT-Beispiel	26
1.5.2 Verteilte Kontrollalgorithmen	28
1.5.3 Der Echo-Algorithmus	30
1.6 Ausblick auf die weiteren Kapitel	32
 2 Untersuchung von Election-Algorithmen	 35
2.1 Das Election-Problem	36
2.1.1 Eine Übersicht bekannter Election-Algorithmen	41
2.1.2 Simulationsexperimente: Zufallszahlen und Versuchsmethode	42
2.2 Ringbasierte Election-Verfahren	44
2.2.1 Election auf unidirektionalen Ringen	44
2.2.1.1 Eine Anwendung: Das Token-Ring-Protokoll	45
2.2.1.2 Nachrichtenkomplexität des unidirektionalen Verfahrens	47
2.2.2 Election auf bidirektionalen Ringen	55
2.2.2.1 Ein probabilistischer Algorithmus	55
2.2.2.2 Deterministische Varianten	57
2.2.2.3 Eine experimentelle Analyse des Koeffizienten c	58
2.2.3 Der Einfluß nicht-konstanter Nachrichtenlaufzeiten	64
2.3 Election-Algorithmen für andere Topologien	67
2.3.1 Election auf Bäumen	68
2.3.2 Election auf allgemeinen Netzen	71
2.3.2.1 Problematik der Bewertung allgemeiner Election-Algorithmen	72
2.3.2.2 Die allgemeinen Election-Verfahren	73

2.3.2.3 Repräsentative beliebige Netze	94
2.3.2.4 Experimentelle Untersuchung allgemeiner Election-Verfahren	96
3 Das Schnappschußproblem	103
3.1 Konsistente globale Zustände	105
3.2 Das Schnappschußprinzip	112
3.3 Zwei symmetrische Schnappschußalgorithmen	115
3.4 Basisalgorithmen als Bausteine	118
3.5 Konsistenz durch 'Einfrieren'	119
4 Verteilte Terminierung	121
4.1 Einleitung	121
4.1.1 Das Märchen von der verteilten Terminierung	123
4.2 Ein Beispiel – verteiltes Lösen von krypto-arithmetischen Rätseln	125
4.2.1 Verteiltes Problemlösen	126
4.2.2 Sequentielle und parallele Lösungsansätze	127
4.2.3 Backtracking und Erkennung der Terminierung	129
4.2.4 Weitere Aspekte	131
4.3 Der Terminierungsbegriff	135
4.3.1 Ergebnisorientierte Terminierung	136
4.3.2 Kommunikationsorientierte Terminierung	139
4.4 Eine Analyse des Terminierungsproblems	145
4.4.1 Einfaches Zählen genügt nicht	148
4.4.2 Das Problem bei synchroner Kommunikation	149
4.5 Charakteristika von Terminierungsalgorithmen	151
4.5.1 Basisprinzipien	151
4.5.2 Eigenschaften, Merkmale und Kriterien	153
4.6 Verfahren mit zwei Wellen	157
4.6.1 Das Doppelzählverfahren	159
4.6.2 Der skeptische Algorithmus	161
4.6.3 Election-basierte Terminierungsalgorithmen	163
4.7 Zeitonenverfahren	172
4.7.1 Eine symmetrische ringbasierte Version	174
4.7.2 Eine sternförmige Version mit beschränkter Zahl von Zeitonen	176
4.7.3 Ein effizienter Terminierungstest für synchrone Kommunikation	177
4.7.3.1 Der DFG-Algorithmus	178
4.7.3.2 Eine effiziente Variante	179
4.7.3.3 Eine Realisierung in CSP	181
4.7.3.4 Bemerkungen zu synchronen Lösungen und CSP	184
4.8 Die Vektormethode	184
4.8.1 Der Revisor	185
4.8.2 Das Prinzip	186
4.8.3 Varianten	191
4.9 Die Kreditmethode	195

4.9.1 Eine Realisierung der Kreditmethode	197
4.9.2 Eine Variante	199
4.9.3 Optimierungen und weitere Varianten	200
4.10 Empirische Effizienzmessungen	202
4.10.1 Messungen am Zahlenrätselprogramm	203
4.10.2 Messungen mit synthetischen Benchmarkprogrammen	206
5 Virtuelle Zeit in verteilten Systemen	213
5.1 Zeitdiagramme und Kausalitätsstruktur	216
5.2 Realzeit	219
5.3 Virtuelle Zeit	221
5.4 Vektorzeit	224
5.4.1 Die Struktur der Vektorzeit	230
5.4.2 Die Analogie zu Minkowski's Raumzeit	237
5.4.3 Anwendungsmöglichkeiten der Vektorzeit	243
5.5 Stichzeitpunkt und Schnappschuß	246
6 Schlußbemerkungen	251
Anhang – Meßergebnisse allgemeiner Election-Algorithmen	255
Literatur	271
Sachverzeichnis	283