

Christoph Arlt

Netzwerkflußprobleme

Lösungsansätze
unter Berücksichtigung
von Fixkosten

TECHNISCHE HOCHSCHULE DARMSTADT	
Fachbereich 1	
<u>Gesamtbibliothek</u>	
<u>Betriebswirtschaftslehre</u>	
Inventar-Nr. :	44.897
Abstell-Nr. :	A 12 / 1480
Sachgebiete :	1.6.3

Deutscher UniversitätsVerlag

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Anwendungen aus der Praxis	7
1.3	Übersicht	11
2	Das lineare Netzwerkflußproblem	13
2.1	Mathematische Formulierung und Eigenschaften	13
2.1.1	Formulierung	13
2.1.2	Äquivalente Formulierungen	15
2.1.2.1	Formulierung in Matrixform	15
2.1.2.2	Formulierung als q - s -Flußproblem	16
2.1.2.3	Formulierung als Zirkulationsflußproblem	17
2.1.3	Eigenschaften	17
2.1.3.1	Zulässigkeit und Lösbarkeit	17
2.1.3.2	Ganzzahligkeit der Extrempunkte des Lösungspolyeders	18
2.1.3.3	Rang der Koeffizientenmatrix	18
2.1.3.4	Optimalitätsbedingungen	19
2.2	Spezialfälle	20
2.2.1	Das Transportproblem	20
2.2.2	Das Zuordnungsproblem	21
2.2.3	Das Kürzeste-Wege-Problem	21
2.2.4	Das Maximalflußproblem	22
2.3	Mögliche Lösungsverfahren	23
2.3.1	Primale Verfahren	23
2.3.2	Primal-duale Verfahren	24
2.3.3	Out-of-Kilter-Verfahren	25
2.3.4	Duale Verfahren	25
2.3.5	Inkrementgraphen-Verfahren	26
2.3.6	Zusammenfassende Bewertung	26
3	Zwei neue primale Verfahren zur Lösung linearer Netzwerkflußprobleme	29
3.1	Das primale Netzwerk-Simplex-Verfahren	29
3.1.1	Konzeption des primalen Netzwerk-Simplex-Verfahrens	29
3.1.1.1	Das Eröffnungsverfahren	32

3.1.1.2	Pricing-Strategien	33
3.1.2	Implementation des primalen Netzwerk-Simplex-Verfahrens	34
3.1.2.1	Datenstrukturen zur Speicherung der Problem Daten	34
3.1.2.2	Datenstrukturen zur Speicherung der Basis	38
3.1.2.3	Implementationen des primalen Netzwerk-Simplex-Verfahrens	40
3.2	Das Lösungsverfahren LP Arc-I	42
3.2.1	Datenstrukturen und globale Variable	44
3.2.2	Der Algorithmus	47
3.2.2.1	Die Darstellung im Pseudo-Code	47
3.2.2.2	Das Pricing	48
3.2.2.3	Die Wahl des die Basis verlassenden Pfeils	49
3.2.2.4	Der Basiswechsel	52
3.2.2.5	Das Eröffnungsverfahren	59
3.2.2.6	Das Programm LP Arc-I	63
3.2.2.7	Reellwertige Kostenkoeffizienten	63
3.3	Das Lösungsverfahren LP Arc-II	66
3.3.1	Datenstrukturen und globale Variable	66
3.3.2	Der Algorithmus	66
3.3.2.1	Die Wahl des die Basis verlassenden Pfeils	68
3.3.2.2	Der Basiswechsel	68
3.3.2.3	Alternative Updates beim Basiswechsel	76
3.3.2.4	Das Eröffnungsverfahren	78
3.3.2.5	Das Programm LP Arc-II	79
3.4	Analyse des Laufzeitverhaltens	79
3.4.1	Die Durchführung der Laufzeitvergleiche	79
3.4.2	Verwendete Testprobleme	80
3.4.3	Vergleich der alternativen Updates beim Basiswechsel von LP Arc-II	81
3.4.4	Neue Standardwerte für den Frequenz-Parameter	81
3.4.5	Laufzeitvergleiche	82
3.4.6	Zusammenfassende Bewertung	86
4	Das Fixkosten-Netzwerkflußproblem	89
4.1	Mathematische Formulierung und Eigenschaften	89
4.2	Der Spezialfall des Fixkosten-Transportproblems	91
4.3	Mögliche Lösungsverfahren	93
4.3.1	Implizite Enumerationsverfahren	94
4.3.2	Branch-and-Bound-Verfahren	94
4.3.3	Zusammenfassende Bewertung	95
4.4	Die lineare Relaxation	96
5	Ein neues Branch-and-Bound-Verfahren zur Lösung von Fixkosten-Netzwerkflußproblemen	101
5.1	Die Konzeption von Branch-and-Bound-Verfahren	101
5.1.1	Die Verzweigung	102

5.1.2	Die Ermittlung von unteren und oberen Schranken	102
5.1.2.1	Untere Schranke für das Problem ($\mathbf{P}_k$)	102
5.1.2.2	Obere Schranke für das Problem ($\mathbf{P}_k$)	103
5.1.2.3	Obere Schranke für das Ausgangsproblem ($\mathbf{P}_0$)	104
5.1.3	Die Streichung und Auslotung	104
5.1.3.1	Streichung	104
5.1.3.2	Auslotung	104
5.1.4	Die Suchstrategie	105
5.1.5	Das Verfahren im Überblick	106
5.2	Das Lösungsverfahren FixArc	106
5.2.1	Die Verzweigung	108
5.2.2	Die Ermittlung von unteren und oberen Schranken	109
5.2.2.1	Untere Schranke für das Problem ($\mathbf{FCNFP}_k$)	109
5.2.2.2	Obere Schranke für das Problem ($\mathbf{FCNFP}_k$)	110
5.2.3	Die Suchstrategie	111
5.2.4	Die Penalties	112
5.2.4.1	Die Lagrange-Relaxation	113
5.2.4.2	Penalties für Basisvariable	115
5.2.4.3	Penalties für Nichtbasisvariable	126
5.2.4.4	Implementation der Penalty-Berechnung	128
5.2.5	Separationsregeln	137
5.2.6	Verzweigungsregeln	139
5.2.7	Weitere Einsatzmöglichkeiten der Penalties	140
5.2.7.1	Verschärfung der unteren Schranken für Teilprobleme	140
5.2.7.2	Erste untere Schranken für die Teilprobleme	140
5.2.7.3	Die optimale Basis von ($\mathbf{NFR}_{kUP}$)	141
5.2.8	Das Verfahren im Überblick	142
5.2.9	Beispielrechnung	144
5.2.10	Approximative Lösung	146
5.3	Analyse des Laufzeitverhaltens	147
5.3.1	Die Durchführung der Laufzeitvergleiche	147
5.3.2	Verwendete Testprobleme	147
5.3.3	Ermittlung günstiger Separations- und Verzweigungsregeln	149
5.3.4	Vergleich der Penalties	153
5.3.5	Laufzeitvergleiche	159
5.3.5.1	Vergleiche mit allgemeinen Problemlösern	160
5.3.5.2	Vergleiche mit Problemlösern für Fixkosten-Transportprobleme	160
5.3.6	Die Lösung großer Probleme	161
5.3.7	Zusammenfassende Bewertung	164
6	Die Implementation unter Microsoft Windows	165
6.1	Microsoft Windows als Zielplattform	165
6.2	Die Implementation	168
6.2.1	Die Konzeption	168

6.2.2	Die Wahl der Entwicklungsumgebung	169
6.2.3	Die Benutzeroberfläche	170
6.2.3.1	Die Problemgenerierung	171
6.2.3.2	Der Editor für große Netzwerke	171
6.2.3.3	Die Problemlösung	174
6.2.3.4	Kontextsensitive Hilfe	177
6.2.4	Einsatz in Client/Server-Modellen	177
6.2.4.1	Datenaustausch	178
6.2.4.2	Makrosprache	180
7	Zusammenfassung	181
A	Spezifikationen der Testprobleme	185
A.1	NETGEN	185
A.2	FIXGEN	190
	Literaturverzeichnis	193
	Symbolverzeichnis	209