

André Krischke
Helge Röpcke

Graphen und Netzwerktheorie

Grundlagen – Methoden – Anwendungen

Mit 137 Bildern und zahlreichen Beispielen



Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen der Graphentheorie	13
1 Grundbegriffe der Graphentheorie	15
1.1 Grundbegriffe für Graphen	16
1.1.1 Definition eines Graphen	16
1.1.2 Grad eines Knotens	18
1.1.3 Wege und Kreise	21
1.2 Typen von Graphen	23
1.2.1 Vollständige Graphen	23
1.2.2 Bipartite Graphen	26
1.2.3 Gerichtete Graphen und Multigraphen	28
1.2.4 Bewertete Graphen	29
1.2.5 Bäume und Wälder	33
1.2.6 Gozinto-Graphen	36
2 Das Kürzeste-Wege-Problem in unbewerteten Graphen	39
2.1 Aufspannende Bäume	39
2.2 Breitensuche	41
2.3 Tiefensuche	44
2.4 Anwendungen in der Praxis	47
3 Das Kürzeste-Wege-Problem in bewerteten Graphen	52
3.1 Der Kürzeste-Wege-Baum und die kombinatorische Explosion	52
3.2 Der Algorithmus von Dijkstra	56
II Ausgewählte Probleme der Graphentheorie	64
4 Das Problem minimal aufspannender Bäume	66
4.1 Minimal aufspannender Baum	66
4.2 Algorithmus von Kruskal	68
4.3 Algorithmus von Prim	71

5	Matching-Probleme	74
5.1	Definition von Matchings	74
5.2	Matchings für bipartite Graphen	76
5.3	Maximal-Matching-Algorithmen.....	78
5.3.1	Greedy-Matching-Algorithmus	79
5.3.2	Verbessernde Wege	80
6	Das Problem des chinesischen Postboten	83
6.1	Euler-Kreise und Euler-Wege	83
6.2	Postbotenproblem.....	90
7	Das Problem des Handlungsreisenden	95
7.1	Hamilton-Kreise und Hamilton-Wege	95
7.1.1	Existenz von hamiltonschen Graphen	97
7.1.2	Problem des Handlungsreisenden	98
7.2	Heuristiken	100
7.3	Anwendungen in der Praxis	104
8	Färbungsprobleme	110
8.1	Planarität und Satz von Euler	110
8.2	Knotenfärbung.....	115
8.3	Kantenfärbung	120
8.4	Dualität zwischen Knoten- und Kantenfärbung	122
III	Netzwerktheorien und -modelle	124
9	Netzwerktheorie – Bedeutung und neuere Erkenntnisse	126
9.1	Große Netzwerke in der Praxis	126
9.1.1	Interorganisations-Netzwerke	127
9.1.2	Beziehungs-, Freundschafts- und soziale Netzwerke	128
9.1.3	Informations-, Daten- und Wissensnetzwerke	129
9.1.4	Technologische Netzwerke	132
9.1.5	Biologische Netzwerke	134
9.2	Ausgewählte Erkenntnisse der Netzwerkforschung	135
9.2.1	Forschung im Bereich sozialer Netzwerke	136
9.2.2	Cluster als Kennzeichen sozialer Netzwerke	137
9.2.3	Kurze Wege als Kennzeichen sozialer Netzwerke	139
9.2.4	Skalen-Invarianz als Kennzeichen großer Netzwerke	140

9.2.5	Universalität als Kennzeichen großer Netzwerke	143
9.3	Weiterführende Literatur	145
10	Eigenschaften von Netzwerken	146
10.1	Charakterisierung von Netzwerken auf Knoten-Ebene	146
10.1.1	Unterscheidung von Hubs und Authorities	146
10.1.2	Lokaler Cluster-Koeffizient	147
10.1.3	Zentralitätsmaße eines Knotens	148
10.2	Charakterisierung von Netzwerken auf Teilgraphen-Ebene	150
10.2.1	Verfahren zum Auffinden zusammenhängender Komponenten	152
10.2.2	Algorithmen zum Auffinden von Communities	153
10.2.3	Klassifizierende Verfahren zum Auffinden von Communities	154
10.3	Charakterisierung von Netzwerken mit statistischen Größen	156
10.3.1	Mittlerer Knotengrad und durchschnittliche Netzwerkdichte	157
10.3.2	Häufigkeitsverteilung der Kontengrade	158
10.3.3	Der Durchmesser und die mittlere Pfadlänge des Netzwerks	160
10.3.4	Der globale Cluster-Koeffizient $\langle C \rangle$ eines Netzwerks	161
10.4	Weiterführende Literatur	161
11	Entstehung von Netzwerken – Netzwerkmodelle	162
11.1	Erzeugung von Netzwerken mit Gleich- oder Binomialverteilung	163
11.1.1	Erzeugung von Gittergraphen mit deterministischen Regeln	163
11.1.2	Erzeugung eines Erdős-Renyi-Zufallsgraphen	165
11.1.3	Erzeugung des Watts-Strogatz-Modells – zwischen Kreis- und Zufallsgraph	170
11.2	Erzeugung von Netzwerken mit skalenfreier Verteilung	174
11.2.1	Erzeugung eines skalenfreien Netzwerks durch das Wachstumsmodell ..	174
11.2.2	Erzeugung eines skalenfreien Netzwerks mit dem Barabasi-Albert-Modell des „Preferential Attachment“	175
11.2.3	Erweiterungen des Barabasi-Albert-Modells	178
11.3	Weiterführende Literatur	181
12	Dynamische Prozesse auf großen Netzwerken	182
12.1	Robustheit von Netzwerken	182
12.1.1	Relevanz und Erscheinungsformen	182
12.1.2	Wesentliche Modelle und Lösungsverfahren	185
12.1.3	Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse	187

12.2 Epidemische Ausbreitung in Netzwerken	187
12.2.1 Relevanz und Erscheinungsformen	188
12.2.2 Wesentliche Modelle und Lösungsverfahren	190
12.2.3 Homogene Modelle zur Beschreibung der Ausbreitung.....	191
12.2.4 Netzwerkmodelle zur Beschreibung der Ausbreitung	193
12.2.5 Impfung in heterogenen Netzwerken	194
12.2.6 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse	197
12.3 Suche in Netzwerken	197
12.3.1 Relevanz und Erscheinungsformen	198
12.3.2 Wesentliche Modelle und Lösungsverfahren	198
12.3.3 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse	201
12.4 Transportprozesse in Netzwerken	201
12.4.1 Datenverkehr und Datenstau in Netzwerken	202
12.4.2 Kaskaden in Transportnetzwerken	205
12.4.3 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse	209
12.5 Kollektives Verhalten in Netzwerken	209
12.5.1 Meinungsbildung in Netzwerken – Das Voting-Modell.....	210
12.5.2 Informationskaskaden in Netzwerken	211
12.5.3 Spieltheorie in Netzwerken	213
12.5.4 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse	215
12.6 Dynamische Prozesse in Netzwerken – Forschungsbedarf	215
12.7 Weiterführende Literatur	216

13 Softwarebasierte Analyse und Modellierung großer Netzwerke 217

13.1 Die Modellbildung als Forschungsprozess	217
13.1.1 Formulierung der Forschungsfrage	218
13.1.2 Formulierung der Forschungshypothesen	218
13.1.3 Festlegung der Modellstruktur	219
13.1.4 Implementierung und Verifikation des Modells	220
13.1.5 Analyse und Validierung des Modells	221
13.1.6 Ergebnisdarstellung zur Entscheidungsunterstützung.....	221
13.2 Softwarebasierte Analyse und Visualisierung	222
13.2.1 Vorgehen bei der Datenbeschaffung und Datenimport	223
13.2.2 Softwarebasierte Erzeugung von Netzwerken	225
13.2.3 Grundlagen der Visualisierung und des Graphzeichnens.....	226
13.2.4 Softwarebasierte Analyse großer Netzwerke	228

13.3 Softwarebasierte Simulation dynamischer Prozesse in Netzwerken	231
13.3.1 Vergleich verschiedener Simulationsmodelle	231
13.3.2 Agentenbasierte Simulationsmodelle auf regulären Netzwerken	233
13.3.3 Simulation des Wachstums von Netzwerken	235
13.3.4 Simulation dynamischer Prozesse in Netzwerken	236
13.3.5 Simulation dynamischer Prozesse auf dynamischen Netzwerken	238
13.3.6 Generierung von Simulationsdaten und Durchsuchen des Lösungs- raums	239
13.4 Schlussbetrachtung zur softwarebasierten Modellierung	240
13.5 Weiterführende Literatur	241
Literaturverzeichnis	242
Bildnachweise	247
Sachwortverzeichnis	248