

Spis treści

1. Jak sieci zaczęły rządzić światem	11
2. Własności sieci rzeczywistych	17
2.1. Pojęcia podstawowe, elementy teorii grafów	17
2.2. Rozkład stopni wierzchołków	27
2.3. Współczynnik gronowania	30
2.4. Sieci małych światów	36
2.5. Miary centralności	39
2.5.1. Średnia odległość	39
2.5.2. Wydajność	41
2.5.3. Pośrednictwo	42
2.6. Korelacje	45
2.6.1. Korelacje dwuwęzłowe	45
2.6.2. Motywy	51
2.7. Skalowanie się odległości w sieciach złożonych	53
2.8. Modularność w sieciach złożonych	54
2.8.1. Analiza społeczności lokalnych	54
2.8.2. Hierarchiczność w sieciach złożonych	62
3. Prawa potęgowe w przyrodzie i fizyce	66
3.1. Wprowadzenie – co oznacza termin „bezskałowość” i dlaczego rozkłady potęgowe są ważne	67
3.2. Matematyka praw potęgowych	74
3.2.1. Jak sprawdzić, czy dany rozkład jest potęgowy	75
3.2.2. Metody wyznaczania wykładników charakterystycznych	80
3.2.3. Ciągłe i dyskretne zmienne losowe oraz warunek unormowania rozkładów potęgowych	82

3.2.4. Wartość oczekiwana, odchylenie standardowe i zdarzenia ekstremalne w układach bezskalowych	84
3.2.5. Rozkłady z tłustymi ogonami i reguła 80/20	87
3.2.6. Rozkład bezskalowy, rozkład Pareto i rozkład Zipfa. Reguła kolejności-wielkości	91
3.2.7. Czy bezskalowość może istnieć bez praw potęgowych	94
3.3. Układy i zjawiska rzeczywiste mające cechę bezskalowości	96
3.4. Mechanizmy powstawania rozkładów potęgowych	100
3.4.1. Składanie zależności wykładniczych	101
3.4.2. Potęgowe zależności między zmiennymi losowymi	103
3.4.3. Model błędzenia przypadkowego	105
3.4.4. Proces Yule'a	111
3.4.5. Procesy multiplikatywne	115
3.5. Przemiany fazowe i zjawiska krytyczne	119
3.5.1. Klasyfikacje przemian fazowych	121
3.5.2. Model Isinga – model prostego magnetyka	126
3.5.3. Perkolacja – strukturalna przemiana fazowa	132
3.6. Skalowanie, fraktale i fraktalne sieci złożone	136
3.6.1. Wymiar, podobieństwo, samopodobieństwo i skalowanie	136
3.6.2. Skalowanie allometryczne, fraktalne sieci dystrybucyjne i czwarty wymiar życia	143
3.6.3. Średnia droga w sieciach przypadkowych i fraktalne sieci złożone	148
4. Modele sieci	156
4.1. Klasyfikacja sieci złożonych. Sieci deterministyczne i przypadkowe, statyczne i ewoluujące	156
4.2. Sieci ewoluujące	159
4.2.1. Model Barabásiego-Albert (BA)	159
4.2.2. Modyfikacje modelu BA i reguły preferencyjnego dołączania węzłów	174
4.2.3. Inne mechanizmy prowadzące do potęgowych rozkładów stopni wierzchołków	179
4.2.4. Ważone sieci bezskalowe	184
4.3. Konstrukcje statyczne	189
4.3.1. Klasyczne grafy przypadkowe Erdősa-Rényiego (ER)	189
4.3.2. Model konfiguracyjny	195
4.3.3. Sieci przypadkowe o zadanym hamiltonianie, model p^*	211
5. Zastosowania sieci złożonych	221
5.1. Struktura sieci społecznych	221
5.1.1. Idea połączeń dalekozasięgowych	221
5.1.2. Sieci przestępcze	227

5.2. Dynamika sieci społecznych – jak powstają koalicje	231
5.2.1. Sojusze w polityce – teoria krajobrazowa Axelroda i Bennetta	232
5.2.2. Formowanie się opinii w społeczeństwie	235
5.2.3. Model Isinga	237
5.3. Przypadkowe uszkodzenia i celowe ataki w sieciach złożonych	241
5.3.1. Przykłady usterek i ataków w sieciach rzeczywistych	242
5.3.2. Modelowanie usterek i ataków	247
5.4. Epidemie w sieciach złożonych	255
5.4.1. O epidemiach – fakty, mity, przykłady	255
5.4.2. Modelowanie epidemii	260
5.5. Ewolucja języka	271
5.6. Sieci biologiczne	274
5.6.1. Sieci protein	274
5.6.2. Model Kauffmana	276

Dodatki

A. Własności macierzy sąsiedztwa grafów prostych	283
B. Generowanie liczb losowych	285
B.1. Ciągłe zmienne losowe z rozkładu potęgowego	285
B.2. Dyskretne zmienne losowe z rozkładu potęgowego	286
B.3. Zmienne losowe z innych rozkładów prawdopodobieństwa	287
B.4. Przybliżone metody generowania dyskretnych zmiennych losowych	287
C. Wyznaczanie wykładników charakterystycznych rozkładów potęgowych	290
D. Zdarzenia ekstremalne w rozkładach potęgowych	293
E. Symulacje Monte Carlo	295
F. Korelacje strukturalne w sieciach złożonych	298
G. Stabilność rozwiązań równania o postaci $x = f(x)$	301
Literatura	303
Skorowidz	316