

Spis treści

1. Jak sieci zawładnęły światem	11
2. Własności sieci rzeczywistych	17
2.1. Pojęcia podstawowe, elementy teorii grafów	17
2.2. Rozkład stopni węzłów	27
2.3. Współczynnik gronowania	29
2.4. Sieci małych światów.	36
2.5. Miary centralności.	38
2.5.1. Średnia odległość	38
2.5.2. Wydajność.	40
2.5.3. Pośrednictwo.	41
2.6. Korelacje	44
2.6.1. Korelacje dwuwęzłowe.	44
2.6.2. Motywy.	50
2.7. Skalowanie odległości w sieciach złożonych	52
2.8. Modularność w sieciach złożonych.	53
2.8.1. Analiza społeczności lokalnych	53
2.8.2. Podział spektralny sieci.	61
2.8.3. Hierarchiczność w sieciach złożonych	68
3. Prawa potęgowe w przyrodzie i fizyce	73
3.1. Wprowadzenie – co oznacza termin „bezskałowość” i dlaczego rozkłady potęgowe są ważne.	74
3.2. Matematyka praw potęgowych	81
3.2.1. Jak sprawdzić, czy dany rozkład jest potęgowy	82
3.2.2. Metody wyznaczania wykładników charakterystycznych.	87
3.2.3. Ciągłe i dyskretne zmienne losowe oraz warunek unormowania rozkładów potęgowych	89

3.2.4. Wartość oczekiwana, odchylenie standardowe i zdarzenia ekstremalne w układach bezskalowych	91
3.2.5. Rozkłady z tłustymi ogonami i reguła 80/20	94
3.2.6. Rozkład bezskalowy, rozkład Pareto i rozkład Zipfa. Reguła kolejności-wielkości	98
3.2.7. Czy bezskalowość może istnieć bez praw potęgowych?	101
3.3. Rzeczywiste układy i zjawiska mające cechę bezskalowości	103
3.4. Mechanizmy powstawania rozkładów potęgowych	107
3.4.1. Składanie zależności wykładniczych	108
3.4.2. Potęgowe zależności między zmiennymi losowymi	110
3.4.3. Model błędzenia przypadkowego	112
3.4.4. Proces Yule'a	117
3.4.5. Procesy multiplikatywne	121
3.5. Przemiany fazowe i zjawiska krytyczne	125
3.5.1. Klasyfikacje przemian fazowych	127
3.5.2. Model Isinga – model prostego magnetyka	133
3.5.3. Perkolacja – strukturalna przemiana fazowa	139
3.6. Skalowanie, fraktale i fraktalne sieci złożone	142
3.6.1. Wymiar, podobieństwo, samopodobieństwo i skalowanie	143
3.6.2. Skalowanie allometryczne, fraktalne sieci dystrybucyjne i czwarty wymiar życia	150
3.6.3. Średnia droga w sieciach. Fraktalne sieci złożone	154
4. Modele sieci	162
4.1. Klasyfikacja sieci złożonych. Sieci deterministyczne i przypadkowe, statyczne i ewoluujące	162
4.2. Sieci ewoluujące	166
4.2.1. Model Barabásiego–Albert (BA)	166
4.2.2. Modyfikacje modelu BA i reguły preferencyjnego dołączania węzłów	180
4.2.3. Inne mechanizmy prowadzące do potęgowych rozkładów stopni węzłów	185
4.2.4. Ważone sieci bezskalowe	191
4.3. Konstrukcje statyczne	195
4.3.1. Klasyczne grafy przypadkowe Erdösa–Rényi (ER)	195
4.3.2. Model konfiguracyjny	201
4.3.3. Sieci przypadkowe o zadanym hamiltonianie. Wykładnicze grafy przypadkowe	217
5. Zastosowania sieci złożonych	228
5.1. Struktura sieci społecznych	228
5.1.1. Idea połączeń dalekozasięgowych	228
5.1.2. Sieci przestępcze	234

5.2. Dynamika sieci społecznych – jak powstają koalicje	239
5.2.1. Sojusze w polityce – teoria krajobrazowa Axelroda i Bennetta.	239
5.2.2. Formowanie się opinii w społeczeństwie	242
5.2.3. Model Isinga	245
5.3. Przypadkowe uszkodzenia i celowe ataki w sieciach złożonych	248
5.3.1. Przykłady usterek i ataków w sieciach rzeczywistych	249
5.3.2. Modelowanie usterek i ataków	254
5.4. Epidemie w sieciach złożonych	262
5.4.1. O epidemiach – fakty, mity, przykłady	262
5.4.2. Modelowanie epidemii.	267
5.5. Ewolucja języka.	278
5.6. Sieci biologiczne.	281
5.6.1. Sieci protein	281
5.6.2. Model Kauffmana	283
5.7. Wyszukiwanie informacji w sieci. PageRank	289
Dodatek A. Własności macierzy sąsiedztwa grafów prostych	294
Dodatek B. Generowanie liczb losowych.	296
B.1. Ciągłe zmienne losowe z rozkładu potęgowego	296
B.2. Dyskretne zmienne losowe z rozkładu potęgowego	297
B.3. Zmienne losowe z innych rozkładów prawdopodobieństwa	298
B.4. Przybliżone metody generowania dyskretnych zmiennych losowych	298
Dodatek C. Wyznaczanie wykładników charakterystycznych rozkładów potęgowych	301
Dodatek D. Zdarzenia ekstremalne w rozkładach potęgowych	304
Dodatek E. Symulacje Monte Carlo	306
Dodatek F. Korelacje strukturalne w sieciach złożonych	309
Dodatek G. Stabilność punktu stałego	312
Literatura.	314
Skorowidz.	329