

Sieci złożone

SYMULACJA POWSTAWANIA SIECI ZŁOŻONEJ

Zmiany struktury sieci

- ▶ **Model Erdősa–Rényi (E-R)**
- ▶ Model Barabásiego–Albert (B-A)
 - ▶ preferencyjne dołączanie
- ▶ Modyfikacje modelu B-A
 - ▶ początkowa atrakcyjność węzłów
 - ▶ różnorodność własności węzłów
 - ▶ przyspieszony wzrost
- ▶ Mechanizmy lokalne
 - ▶ starzenie się węzłów
 - ▶ kopiowanie węzłów

Model odniesienia Erdős – Rényi (E-R)

- ▶ N węzłów; każde potencjalne połączenie jest realizowane z jednakowym prawdopodobieństwem p_E
- ▶ Oczekiwana liczba połączeń $|E| = p_E \frac{N(N-1)}{2}$
- ▶ Średni stopień węzła $\langle c_D \rangle = \frac{|E|}{N/2} = p_E(N-1) \approx p_E N$
- ▶ Rozkład stopni węzłów można przybliżyć rozkładem Poissona

$$p(k = k_i) = e^{-\langle c_D \rangle} \frac{\langle c_D \rangle^k}{k!}$$

$$c_D(v_i) \equiv k_i$$

Zmiany struktury sieci

- ▶ Model Erdősa–Rényi (E-R)
- ▶ **Model Barabásiego–Albert (B-A)**
 - ▶ preferencyjne dołączanie
- ▶ Modyfikacje modelu B-A
 - ▶ początkowa atrakcyjność węzłów
 - ▶ różnorodność własności węzłów
 - ▶ przyspieszony wzrost
- ▶ Mechanizmy lokalne
 - ▶ starzenie się węzłów
 - ▶ kopiowanie węzłów

Model Barabásiego–Albert (B-A)

► Preferencyjne dołączanie (liniowe)

Utwórz całkowicie połączoną sieć początkową o N_0 węzłach

Przygotuj jeden nowy węzeł V

Wylosuj m węzłów spośród już obecnych w sieci z prawdopodobieństwem proporcjonalnym do stopnia węzła

Połącz wylosowane węzły z węzłem V

Model Barabásiego–Albert (B-A)

- ▶ Stopień węzłów młodych przyrasta wolniej niż starych
- ▶ Rozkład stopni węzłów

$$p(k = k_i) = 2m^2 k^{-3}$$

- ▶ Powstała sieć jest bezskalowa
- ▶ Prawdopodobieństwo wyboru węzła

$$\Pi(k_i) \approx \frac{k_i}{\sum_{j=1}^{N-N_0} k_j}$$

Model Barabásiego–Albert (B-A)

- ▶ W rzeczywistych sieciach $\alpha < 3$ a nawet $\alpha < 2$
 - ▶ mało przydatny w modelowaniu rzeczywistych systemów
- ▶ **Węzły dodane wcześniej nie mogą się ze sobą połączyć**
- ▶ Zbyt małe wartości współczynnika gronowania
- ▶ Zerowa wartość współczynnika asortatywności

Model Barabásiego–Albert (B-A)

- ▶ W rzeczywistych sieciach $\alpha < 3$ a nawet $\alpha < 2$
 - ▶ mało przydatny w modelowaniu rzeczywistych systemów
- ▶ Węzły dodane wcześniej nie mogą się ze sobą połączyć
- ▶ Zbyt małe wartości współczynnika gronowania
- ▶ Zerowa wartość współczynnika asortatywności
- ▶ Model minimalny, łatwo dodawać kolejne reguły

Zmiany struktury sieci

- ▶ Model Erdősa–Rényi (E-R)
- ▶ Model Barabásiego–Albert (B-A)
 - ▶ preferencyjne dołączanie
- ▶ **Modyfikacje modelu B-A**
 - ▶ początkowa atrakcyjność węzłów
 - ▶ różnorodność własności węzłów
 - ▶ przyspieszony wzrost
- ▶ Mechanizmy lokalne
 - ▶ starzenie się węzłów
 - ▶ kopiowanie węzłów

Modyfikacje modelu B-A

- ▶ **Początkowa atrakcyjność węzłów**
- ▶ Można zaplanować wartość wykładnika α
- ▶ Prawdopodobieństwo wyboru węzła

$$\Pi(k_i) = \frac{k_i + a}{\sum_{j=1}^{N-N_O} (k_j + a)}$$

- ▶ $a > -m$ początkowa atrakcyjność węzła, większe $\Pi(k_i)$ nowych węzłów

$$\alpha = 3 + \frac{a}{m}$$

Modyfikacje modelu B-A

- ▶ **Różnorodność własności węzłów**

- ▶ η_i – parametr przypisywany węzłowi w momencie dodawania go do sieci

$$\Pi(k_i, \eta_i) = \frac{\eta_i k_i}{\sum_{j=1}^{N-N_O} \eta_j k_j}$$

- ▶ węzły o dużych wartościach parametru adaptacyjnego szybciej gromadzą nowe połączenia
- ▶ jak wybierać wartości parametru adaptacyjnego?

Modyfikacje modelu B-A

- ▶ **Przyśpieszony wzrost**

- ▶ Połączenia przyrastają szybciej niż węzły $\rightarrow$ średni stopień zależy od czasu
- ▶ Starsze węzły mogą się łączyć

$$m(t) \propto t^a, \quad a > 0$$

- ▶ Prawdopodobieństwo wyboru węzła

$$\Pi(k, N) \propto k + Bt^a$$

- ▶ Rozkład stopni węzłów

$$p(k = k_i) = Ck^{-\alpha}, \quad \alpha = 2 + B \frac{1+a}{1-Ba}$$

Zasady generowania sieci złożonych

- ▶ Aby wygenerować sieć złożoną, trzeba zastosować jednocześnie:
 - ▶ preferencyjne dołączanie (magnetyzm sławy)
 - ▶ wzrost sieci
- ▶ Sieci nieskierowane i ważone wymagają specjalnej dodatkowej obsługi

Zmiany struktury sieci

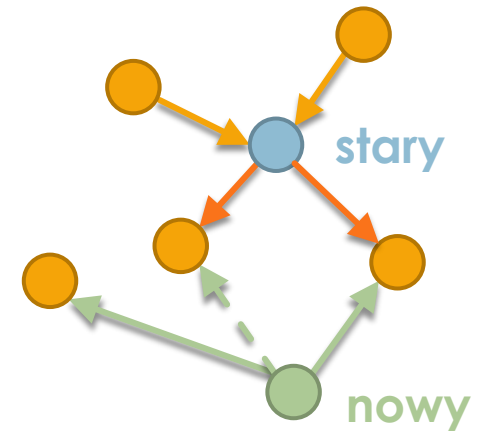
- ▶ Model Erdősa–Rényi (E-R)
- ▶ Model Barabásiego–Albert (B-A)
 - ▶ preferencyjne dołączanie
- ▶ Modyfikacje modelu B-A
 - ▶ początkowa atrakcyjność węzłów
 - ▶ różnorodność własności węzłów
 - ▶ przyspieszony wzrost
- ▶ **Mechanizmy lokalne**
 - ▶ starzenie się węzłów
 - ▶ kopiowanie węzłów

Mechanizmy lokalne

- ▶ **Efekt starzenia się węzłów**
- ▶ W każdym kroku wzrostu sieci **dezaktywowany jest starszy węzeł**
 - ▶ prawdopodobieństwo dezaktywacji węzła zależy od jego stopnia
 - ▶ nieaktywne węzły nie zmieniają swoich stopni
- ▶ Nowo dodawany węzeł może połączyć się tylko z węzłami aktywnymi w danym momencie (jego **lokalne środowisko**)
- ▶ Uzyskiwane sieci są bezskalowe i mają wysoką wartość współczynnika gronowania
- ▶ Efekt starzenia się może dotyczyć całej sieci

Mechanizmy lokalne

- ▶ Czy nowe węzły znają stopnie wszystkich istniejących węzłów?
- ▶ **Mechanizm kopiowania** w sieciach ważonych
- ▶ Nowo dołączany węzeł
 - ▶ nie posiada połączeń wchodzących
 - ▶ połączenia wychodzące są kopiowane z losowo wybranego węzła
 - ▶ z pewnym prawdopodobieństwem przełączamy krawędzie do innych losowo wybranych węzłów



A black and white photograph of a city skyline at night, likely New York City, with the text "The End" overlaid in a large, white, cursive font. The skyline features several prominent skyscrapers, including the Empire State Building, which is illuminated and stands out against the dark sky. The foreground is dark and out of focus, showing the silhouettes of trees and possibly some lights from the city below. The overall mood is dramatic and final.

The End