

¹ НЛТУ України, Львів, Україна, ORCID: 0009-0002-1400-4654,
smirnov.t@nltu.lviv.ua

² НЛТУ України, Львів, Україна. ORCID: 0000-0002-9961-1244,
shabaturayuriy@gmail.com

Моделі топології і динаміки поширення фейкових повідомлень в соціальних мережах

***Анотація.** Розглянуто поширення неправдивої інформації (фейкових повідомлень) у соціальних мережах. Запропоновано підхід до моделювання поширення інформації на основі топологічних моделей соціальних графів і динамічних процесів (зараження–поширення–усунення). Проведено порівняльний аналіз різних структур мереж (регулярної, випадкової, масштабу «світ-маленької» та реальних даних соцмереж) і оцінено вплив ключових параметрів (рівень активності, ступінь зв'язності, ймовірність передавання, швидкість «видалення» або «спростування»). Отримані результати демонструють, що тонка зміна топологічних характеристик (наприклад, гамма-розподіл степенів, кластеризація) значно впливає на темпи і розміри поширення фейків. Практичне значення полягає у тому, що моделі можуть допомогти в оцінці ризиків інформаційних кампаній та розробці стратегій протидії.*

***Ключові слова** – фейкові повідомлення, соціальні мережі, топологічні моделі, динаміка поширення, модель зараження інформацією.*

Вступ. У сучасному цифровому середовищі соціальні мережі перетворилися на ключову інфраструктуру комунікації, обміну знаннями та формування суспільної думки. Проте разом із цим зростає масштаб і складність інформаційних впливів, серед яких особливо небезпечним є поширення неправдивих, викривлених або маніпулятивних повідомлень, відомих як фейкові новини. Такі інформаційні потоки формують спотворену картину реальності, сприяють радикалізації поглядів, зниженню рівня довіри до інституцій і створенню ефекту «інформаційних бульбашок».

В останні роки дослідники все активніше застосовують математичні та комп'ютерні моделі для опису процесів інформаційного зараження, що мають подібність до епідемічних або каскадних процесів у складних мережах. Аналіз структурних властивостей соціальних графів (ступінь зв'язності, коефіцієнт кластеризації, центральність вузлів) дає змогу визначати закономірності та пороги, за яких фейкові повідомлення переходять від локального до масового поширення.

У межах даної роботи розглядається задача побудови та аналізу моделей поширення неправдивої інформації з урахуванням як топологічних характеристик соціальних мереж, так і динамічних параметрів процесу передавання. Метою є виявлення закономірностей впливу структури мережі на швидкість і масштаб розповсюдження фейкових повідомлень, а також визначення ефективних стратегій протидії, спрямованих на мінімізацію інформаційних ризиків у цифровому просторі [1].

Математична модель. Для опису процесу поширення фейкових повідомлень соціальну мережу подано у вигляді орієнтованого графа:

$$G = (V, E), \quad (1)$$

де V – множина користувачів (вузлів), E – множина зв'язків між ними, які відображають канали комунікації чи взаємодії.

Топологічна структура мережі. Розглянуто кілька типів мережевих топологій, які відображають різні сценарії комунікацій:

- регулярні графи, що характеризуються сталою кількістю зв'язків кожного вузла;
- випадкові графи (модель Ердеша–Реньї), де кожен зв'язок формується з певною ймовірністю;
- мережі малого світу (модель Воттса–Строгатца), що поєднують локальну кластеризацію з короткою середньою відстанню між вузлами;
- масштаб-вільні мережі (модель Барабаші–Альберт), у яких ступінь зв'язності вузлів підпорядковується степеневому закону;
- реальні соціальні мережі, побудовані на основі емпіричних даних (наприклад, X або Facebook).

Динаміка поширення інформації. Динамічну модель процесу поширення представлено у вигляді модифікації епідемічних моделей типу SI–SIS–SIR [2]. Кожен вузол може перебувати у трьох станах:

- S (Susceptible) – користувач, який ще не бачив повідомлення;
- I (Infected) – користувач, який отримав і поширює фейкове повідомлення;
- R (Removed) – користувач, який припинив поширення або спростував повідомлення.

Параметри моделі:

- λ – інтенсивність передавання інформації;
- μ – швидкість видалення або спростування;
- κ – коефіцієнт активності користувача (ступінь його участі у взаємодії).

Еволюція станів вузлів моделюється ітераційно в часі, де на кожному кроці для вузлів $v_i \in V$ обчислюється ймовірність переходу між станами з урахуванням топології графа.

Критерії оцінювання. Для кількісного аналізу ефективності моделей використано такі показники:

- час досягнення піку поширення;
- частка охоплення мережі (відсоток користувачів, що отримали фейк);
- середня довжина каскаду поширення;
- залежність інтенсивності процесу від топологічних характеристик (ступеня зв'язності, кластеризації, центральності вузлів).

Реалізація симуляцій. Симуляційні експерименти реалізовано із використанням бібліотек NetworkX (Python) та GraphX (C#). Проведено серію чисельних експериментів на графах різних типів для визначення критичних порогів та ефекту структурних змін на поширення фейкових повідомлень.

Програмна реалізація. Для перевірки побудованої моделі розроблено симуляційне середовище, що реалізує динаміку поширення фейкових повідомлень у мережевих структурах різних типів. Програмна реалізація виконана із застосуванням бібліотек NetworkX (Python) та GraphX (C#), які забезпечують можливість побудови, візуалізації та аналізу великих соціальних графів.

У ході експериментів моделювалися процеси інформаційного поширення у чотирьох типах мереж – регулярних, випадкових, малого світу та масштаб-вільних. Для кожної конфігурації обчислювалися динамічні параметри системи, зокрема швидкість передавання λ , інтенсивність спростування μ , середній ступінь вузлів, коефіцієнт кластеризації та діаметр графа.

Результати експериментів показали такі закономірності:

- у мережах із високою кластеризацією поширення фейкових повідомлень відбувається швидше, але охоплення залишається локалізованим;
- у масштаб-вільних мережах вузли-«хаби» суттєво підсилюють процес навіть за невеликої інтенсивності передавання;
- параметр μ , що відображає швидкість спростування або видалення фейку, має визначальний вплив: підвищення цього показника лише на 10 % може скоротити охоплення на понад 30 %;
- змодельовані криві динаміки добре узгоджуються з емпіричними даними з реальних соціальних мереж (Twitter, Facebook), що підтверджує адекватність обраної моделі.

Виявлено, що ефективність протидії поширенню фейків значною мірою залежить від топології мережі. Таргетування ключових вузлів з високими показниками центральності є значно ефективнішим, ніж випадкове спростування. Разом з тим, модель має певні обмеження – зокрема, припущення про однорідність поведінки користувачів і статичність структури зв'язків.

Подальші напрями досліджень передбачають розширення моделі з урахуванням адаптивної поведінки користувачів, міжплатформових зв'язків і впровадження методів машинного навчання для прогнозування ризиків поширення дезінформації у складних мережах.

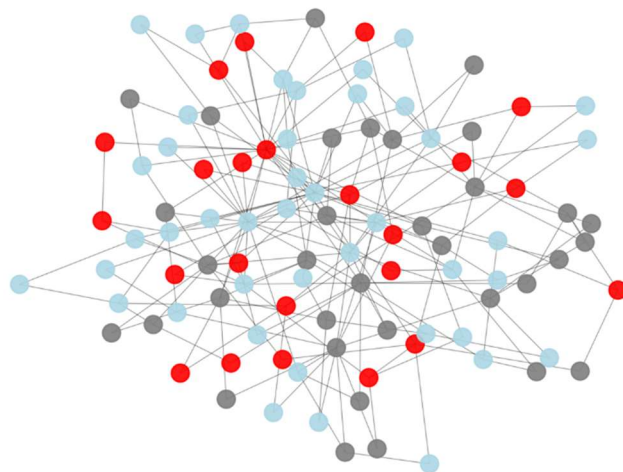


Рисунок 1. Візуалізація моделі поширення фейкових повідомлень у масштаб-вільній мережі: червоним позначено активні вузли (джерела поширення), блакитним – сприйнятливі, сірим – вузли, що припинили поширення.

Для ілюстрації результатів моделювання на рисунку 1 наведено візуалізацію процесу поширення фейкових повідомлень у масштаб-вільній мережі. На графі показано типову структуру соціальної мережі з вузлами різного ступеня зв'язності. Червоні вузли відповідають активним користувачам, які поширюють неправдиву інформацію, блакитні – сприйнятливим користувачам, що потенційно можуть отримати повідомлення, а сірі – тим, які припинили поширення або спростували його. Така візуалізація демонструє характерну каскадну динаміку поширення фейків та підтверджує залежність масштабів процесу від топології мережі.

Висновок. Побудовано модель поширення фейкових повідомлень із урахуванням топологічних характеристик мережі, таких як середній ступінь вузлів, коефіцієнт кластеризації та діаметр графа. Встановлено, що взаємозв'язок між інтенсивністю передавання інформації, структурною щільністю мережі та швидкістю її спростування визначає поріг масового поширення. Якщо рівень активності користувачів перевищує критичне значення, фейкові повідомлення охоплюють значну частину мережі; у протилежному випадку процес згасає. Показано, що орієнтація інтервенцій на вузли з високими показниками центральності або підвищення швидкості спростування інформації може істотно знизити ризик глобального охоплення та стабілізувати інформаційний простір соціальної мережі.

Список використаних літературних джерел

- [1] Kim, B., & Oh, E. (2021). Information diffusion in complex social networks: A clustering-based approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 585, 126138.
- [2] Pastor-Satorras, R., Castellano, C., Van Mieghem, P., & Vespignani, A. (2015). Epidemic processes in complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 87(3), 925–979.

Models of Topology and Dynamics of Fake Message Diffusion in Social Networks

The spread of false information (fake messages) in social networks is examined. An approach is proposed for modeling information diffusion based on topological models of social graphs and dynamic processes (infection–propagation–removal). A comparative analysis of different network structures (regular, random, small-world, and real social network data) is conducted, and the impact of key parameters (activity level, degree of connectivity, transmission probability, and rate of removal or debunking) is evaluated. The obtained results demonstrate that subtle changes in topological characteristics (such as degree distribution or clustering coefficient) significantly affect the rate and scale of fake message diffusion. The practical significance lies in the fact that the proposed models can assist in assessing the risks of information campaigns and developing counter-disinformation strategies.