

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет _____ Комп'ютерних наук _____
(повна назва)
Кафедра _____ Штучного інтелекту _____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
(рівень вищої освіти)
_____ Дослідження асортативності безмасштабних мереж _____
_____ (тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи _____ СШМ–18–1 _____
_____ Черномуров Данило Анатолійович _____
(прізвище, ініціали)
Спеціальність _____ 122 – Комп'ютерні науки _____
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми _____ освітньо–наукова _____
_____ (освітньо–професійна або освітньо –наукова)
Освітня програма _____ Системи штучного _____
_____ інтелекту (СШ) _____
(повна назва освітньої програми)
Керівник _____ проф. Удовенко С.Г. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри _____

(підпис)

_____ В.О. Філатов _____
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____

Кафедра _____ Штучного інтелекту _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 122 – Комп'ютерні науки _____

(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо–наукова _____

(освітньо–професійна або освітньо –наукова)

Освітня програма _____ Системи штучного інтелекту (СШІ) _____

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

_____ (підпис)

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

студенту _____ Черномурову Данилу Анатолійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) _____ Дослідження асортативності безмасштабних мереж
затверджена наказом по університету від “__” _____ 2020 р. № _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20 _____ травня _____ 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи (проекту). Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows 7, IDE IntelliJ Idea. Технічне забезпечення: IBM–сумісний ПК Core 2 Duo та вище.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ 4.2 Аналіз предметної області та постановка задачі 4.2.1 Актуальність роботи 4.2.2 Огляд аналогів системи, яка розробляється 4.2.3 Постановка задачі 4.3 Математичний опис задачі 4.4 Проектування програмної системи

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів,

комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Аналіз предметної галузі	проф. Удовенко С.Г.		12.04.2020
Математичний опис і алгоритми	проф. Удовенко С.Г.		20.04.2020
Експериментальне моделювання	проф. Удовенко С.Г.		30.04.2020
Проектування моделі даних	проф. Удовенко С.Г.		08.05.2020

1. КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної галузі	11.04.2020	виконано
2	Математичний опис і алгоритми	20.04.2020	виконано
3	Експериментальне моделювання	25.04.2020	виконано
4	Проектування моделі даних	08.05.2020	виконано
5	Написання пояснювальної записки	14.05.2020	виконано
6	Попередній захист	15.05.2020	виконано
7	Захист перед ЕК	20.05.2020	

Дата видачі завдання 30 березня 2020 р.

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

проф. Удовенко С.Г.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Записка пояснювальна: 80 с., 20 рис., 53 джерела.

АСОРТАТИВНІСТЬ, МЕРЕЖА, ГРАФІК, СПЕКТР ГРАФІКА,
СТІЙКІСТЬ, СТУПІНЬ, СТУПІНЬ КОРЕЛЯЦІЇ.

Об'єкт дослідження – методи визначення асортативності мереж.

Предмет дослідження – методи семантичного аналізу асортативності мереж

Мета атестаційної роботи – характеристика асортативності, аналіз структури мереж з екстремальною асортативністю, огляд моделей мереж; масштабно-інваріантні (Scale-Free) мережі, аналіз структури SF-мереж з екстремальною асортативністю.

Методи дослідження – розробка алгоритмів побудови SF-мереж з екстремальною асортативністю, оцінювання граничних значень коефіцієнту асортативності для SF-мереж, проведення імітаційного моделювання асортативних SF-мереж.

РЕФЕРАТ

Записка пояснительная: 80 с., 20 рис., 53 источника.

АССОРТАТИВНОСТЬ, СЕТЬ, ГРАФИК, СПЕКТР ГРАФИКА,
УСТОЙЧИВОСТЬ, СТЕПЕНЬ, СТЕПЕНЬ КОРРЕЛЯЦИИ

Объект исследования – методы определения ассортативности сетей.

Предмет исследования – методы семантического анализа ассортативности сетей

Цель аттестационной работы – характеристика ассортативности, анализ структуры сетей с экстремальной ассортативностью, обзор моделей сетей; масштабно-инвариантные (Scale-Free) сети, анализ структуры SF-сетей с экстремальной ассортативностью.

Методы исследования – разработка алгоритмов построения SF-сетей с экстремальной ассортативностью, оценки предельных значений коэффициента ассортативности для SF-сетей, проведения имитационного моделирования асортативных SF-сетей.

ABSTRACT

Explanatory note: 80 p., 20 fig., 53 sources.

**ASSORTATIVITY, NETWORK, GRAPH, GRAPH SPECTRUM, ROBUSTNESS,
DEGREE, DEGREE CORRELATION**

The object of research – methods for determining the assortment of networks.

The subject of research – methods of semantic analysis of network assortivity

The purpose of work – the characteristic of assortivity, the analysis of structure of networks with extreme assortivity, the review of models of networks; scale-invariant (Scale – Free) networks, analysis of the structure of SF-networks with extreme assortivity.

Research methods – development of algorithms for constructing SF-networks with extreme assortivity, estimation of limit values of assortivity coefficient for SF-networks, conducting simulation modeling of assortative SF-networks.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз предметної області і постановка завдання	12
1.1 Актуальність роботи	12
1.2 Огляд аналогів розроблюваної системи.....	15
1.3 Постановка задачі.....	25
2 Математичний опис та алгоритми	26
2.1 Ступінь асортиментальності незважених, спрямованих графіків....	26
2.2 Співвідношення між асортиментальністю та спектрами графіків...	28
2.3 Вплив на асортативність через зміни топології мережі	30
2.4 Співвідношення асортиментальності та лінійних графіків	37
3 Проектування програмної системи.....	47
3.1 Ступінь асортиментальності незважених, непрямих графіків	47
3.2 Ердос–Реній Випадковий графік	49
3.3 Проектування моделі даних	50
3.4 Огляд і вибір методів реалізації.....	55
3.5 Розробка інтерфейсу користувача	60
Висновки	65
Перелік джерел посилання	70
Додатки.....	72

ВСТУП

У атестаційній роботі я надаю огляд асортативного змішування у складних мережах. Поняття асортативність було введено Ньюменом [1] у 2002 році і з того часу широко вивчається. Асортативність – графічна метрика. Він відображає, якою мірою вузли в мережі асоціюються з іншими вузлами в мережа, яка є подібною чи протилежною. Взагалі, асортиментальність мережі є визначається за ступенем (кількістю прямих сусідів) вузлів у мережі. Поняття о але асортиментальність може, однак, застосовуватися і до інших характеристик вузла, таких як вага вузла, сердечність, вузол між міжряддями, k ступінь вузла рівня (кількість вузлів, яких можна досягти не більше k хміль; Крім того, асортимент може застосовуватися до характеристик вузлів, які не пов'язані безпосередньо з топологією, такими як раса або мова (див., наприклад, Quayle et al. та Nagoshi et al.). Асортативність виражається у вигляді скалярного значення, ρ , в діапазоні $-1 \leq \rho \leq 1$. Ступінь асортативності ідентифікується як ρD . Кажуть, що мережа є асоціативною, коли вузли високого ступеня в середньому з'єднані з іншими вузлами вузли з високим і низьким ступенем в середньому пов'язані з іншими вузлами з низьким ступенем. А Мережа, як кажуть, дезасортативно, коли в середньому вузли високого ступеня з'єднані з вузлами вузли низького (e_p) і, в середньому, вузли низького ступеня з'єднані з вузлами з високим (e_p) ступенем. Асортативність надає інформацію про структуру мережі, а також про динамічну поведінку мережа та надійність мережі, такі як випадкова або цільова атака та поширення вірусу. Враховуючи, що лише ступінь розподілу мережі, як правило, не є достатньою інформація про мережу. Визначено оригінальне визначення асортативності (Ньюмена) для незважених, не спрямованих мереж. про співвідношення між випадковими змінними.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Актуальність роботи

Визначимо коефіцієнт лінійної кореляції між двома випадковими змінними X і Y наступним чином:

$$\rho(X, Y) = \frac{E[XY] - \mu_X \mu_Y}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - E[X])(Y - E[Y])]}{\sqrt{E[(X - E[X])^2]E[(Y - E[Y])^2]}} \quad (1.1)$$

де μ_X і μ_Y – середні значення X і Y відповідно, $E[XY] - \mu_X \mu_Y$ – коваріація X і Y і σ_X і σ_Y – їх відповідне стандартне відхилення. Отримати визначення ступеня кореляції, асортативності, я застосовую наступний підхід. Я випадково вибираю посилання l у графі. Посилання з'єднує два вузли: початковий вузол, позначений $l-$, і кінцевий вузол, позначений $l+$. Ступінь D_l- позначається D_l- , а ступінь $l+$ позначається D_l+ . Ньюмен [1], похідний від рівняння (1) коефіцієнт кореляції лінійної ступеня:

$$\rho_D = \frac{\sum_{jk} jk(e_{jk} - q_j q_k)}{\sigma_q^2} \quad (1.2)$$

де e_{jk} – вірогідність ступеня надлишкового ступеня для ступеня надлишків j і ступеня перевищення k (ступінь перевищення також відомий як ступінь, що залишився, вузла дорівнює ступеня цього вузла мінус один).

$$q_k = \frac{(k+1)p_{k+1}}{\sum_j j p_j} \quad (1.3)$$

Формула (1.3) задає нормалізований розподіл надлишкового ступеня D_l випадково вибраного вузла σ_q – стандартне відхилення q_k . Асортативність кількісно визначається коефіцієнтом кореляції Пірсона

(Ван Мігема [2], гл. 2 та ч.4) X і Y , причому X і Y – ступінь перевищення в кінці ланки. Поділ на σ_q^2 (дисперсія q) служить для нормалізації асортативності в інтервалі $[-1,1]$. Обґрунтування обґрунтування ступеня асортативності на ступінь надлишку ($= d_i - 1$) вузла i , а не на ступінь вузла i , d_i , така тенденція для двох вузла i та j для підключення визначаються з моменту, коли ці вузла i та j ще не з'єднані, тобто мають ступінь $d_i - 1$ і $d_j - 1$. Для подальшого опису лінійних даних я також звертаюсь до Ван Мігема [50]. Коефіцієнт кореляції. Асортативність з часу її заснування в 2002 році вивчалася широко, зокрема Ньюменом [3] [4], D'Agostino та ін. [1], Чанг та ін. [5], Естрада [6], Холм та ін. [7], König та ін. [8], Leung та ін. [9], Litvak та ін. [10], Лю та ін. [11], Манка–Красон і Кулаковський [12], Нгуєн [13], Піравенан та ін. [14 – 17], Ван Мігем та ін. [18 – 19], Ван та ін. [20], Вінтербах та ін. [21], Хіа та ін. [22], Сю та ін. [23], Xulvi–Brunet та ін. [24], Дж. Чжоу та ін. [25] та Д. Чжоу та ін. [26]. Робота організована наступним чином. Після короткого ознайомлення з аналізом графіків у розділі 2, розділ 3 представляє опитування літератури. Розділ 4 закладає теоретичну основу для концепції асортиментальності, включаючи різні приклади. Хоча фонд розглядає спрямовані мережі (мережі з направленими посилання), приклади в цьому розділі містять лише непрямі мережі. Розділ 5 застосовує асортиментальність до мережі з незваженими, спрямованими зв'язками. Це вивчали, серед інших, Фостер та ін. [16] та Ріваченан та ін. [27]. Поки що асоціативність для зважених мереж недостатньо вивчена. Розділ 6 вивчає співвідношення між асортиментальністю та спектрами графів. Тут я посилаюсь на твір Ван Мігема та ін. [28]–[29]. Розділ 7 вивчає методи впливу на асоціативність мережі, такі як ступінь збереження проводки. Асортиментальність мережі може бути змінена з певної причини, наприклад, із збільшенням надійності мережі (наприклад, стійкість до видалення посилань) або пом'якшення ефекту від поширення вірусу через мережу. Розділ 8 вивчає співвідношення між асортиментальністю та лінійними графіками. Це

відношення вивчали, серед інших, Liu et al. [27] і Манка–Красон і Кулаковський [29]. Розділ 9 досліджень співвідношення між асортативністю та комплементарними графіками, вивченими Wang et al. [30]. У розділі 10 я вивчаю концепцію локальної асортативності. Я посилаюсь на роботу Piraveenan та ін. [31]. Розділ 11 містить висновки та дає вказівки щодо подальшої роботи.

Розгорнутий опис аналізу графів можна знайти у Ван Мігемі [32], частина III, та у Ван Мігемі [33]. Я представляю мережу у вигляді графіка $G(N, L)$ з набором вузлів N $N = |N|$ вузлів і з набором ланок L $L = |L|$ посилення². Графік може бути представлений через матрицю суміжності A розміром $N \times N$ з елементами $a_{ij} = 1$, коли існує зв'язок між вузлом i та вузлом $j = 0$, коли між вузлом i та вузлом j не існує зв'язку Я припускаю, що не існує жодних самоциклів (звідси $a_{ii} = 0$) і немає перекриваються посилень, тобто не може бути більше ніж одна ланка між i та j . Такий графік відомий як простий графік. Для непрямих графіків посилень немає напрямок. Для ненаправлених графіків A симетричний, тобто $a_{ij} = a_{ji}$ і $A = A^T$. Для спрямованих графіків, де посилення маю напрямом, маю $a_{ij} \neq a_{ji}$, для $i \neq j$. Наприклад коли існує посилення від вузла i до вузла j , але не в іншому напрям, то $a_{ij} = 1$ і $a_{ji} = 0$. Графіки можуть містити зважені посилення, і в цьому випадку посилення має вагу пов'язані з нею. Зазвичай ця вага w_{ij} виражається негативним дійсним числом³. Відповідна зважена матриця суміжності W містить ваги w_{ij} замість a_{ij} . Я вивчаю асортиментальність в графах різних класів, за якими клас становить опис топологія мережі. Ступінь послідовності мережі тільки не може розглядатися як а всебічна характеристика цієї мережі, що є однією з причин впровадження Ньюмена Поняття асортиментальності. До відомих мережевих моделей (класів) належать: випадковий графік Ердос–Рені (ER) [12] [13]. Графік класу ER містить набір з N вузлів. Вузли в мережі з'єднані посиленням з ймовірністю p . Наявність зв'язку між а пара вузлів стохастично не залежить від наявності зв'язку між будь-якою іншою

парою вузлів. Мережа ER має розподіл біноміального ступеня (D):

$$\Pr[D = k] = \binom{N-1}{k} p^k (1-p)^{N-1-k} \quad (1.4)$$

Для великих N і $\lambda = p(N-1)$ не залежить від N , розподіл ступенів Eq. (3) розвивається в Розподіл Пуассона (Ван Мігхем [34], ч. 2):

Випадковий графік Барабасі–Альберта (BA) [2]. Графік класу BA – це зростаючий мережева модель. Мережа побудована із початкового графіка, як правило, з цілого графа N_0 вузлів, до яких додається ітераційно вузол. Кожен щойно доданий вузол підключений до m існуючі, випадково вибрані вузли. Імовірність приєднання до випадково вибраного вузла пропорційна ступеня ймовірності того існуючого вузла, що пояснює термін пільгове вкладення.

Для великих N , графік BA має розподіл ступенів закону потужності (без масштабу):

$$\Pr[D = k] = ck^{-\gamma} \quad (1.5)$$

чим $\gamma > 1$, хоча для більшості реальних мереж $1,2 \leq \gamma \leq 3,5$ і де c є фактором нормалізації, так що $\sum_{k=1}^{N-1} \Pr(D = k) = 1$.

Ватс–Строгац (WS) – невеликий світовий графік [54]. Графік WS – це еволюціонує графік. Графік побудований із звичайного графіка, такого як (зазвичай) кільцева решітка. Для повторного з'єднання кожної ланки з імовірністю застосовується ітераційний процес перемотування p G , до випадково вибраного іншого вузла. Термін “малий світ” використовується, оскільки мережі цього класу демонструють найкоротші шляхи з невеликим середнім числом стрибків $E[H]$. У той же час коефіцієнт кластеризації, C , графіка залишається високим. (C є мірою кількості трикутників у графі відносно кількості трійки в графі [35].) p r збільшується до 1, отримана

мережа буде близькою до мережі ER. Ступінь графіка WS орієнтована на ступінь неприєднаних вузлів. Коли я розглянемо графік WS, побудований з кільцевої решітки без перемотування ($p = 0$), ступінь кожного вузла однакова, оскільки кожен вузол з'єднаний з однаковою кількістю сусідів. При ймовірності перемотування $p > 0$ збільшується або коли кількість циклів перемотування c збільшується, графік стає більш випадковим і розподіл ступеня еволюціонує до біноміального розподілу (або розподілу Пуассона, залежно від N і L). Для $p = 0$, у нас є середня кількість стрибків найкоротшого шляху як функції N , $E [H N] = O(N)$. Коли $p > 0$ стає достатньо великим, стає середній розрив найкоротшого шляху $E [H N] = O(\sqrt{N})$ (журнал N).

Мережа, що росте Callaway [3]. Клас графів Callaway – це, як і ВА графічний клас, зростаюча мережна модель. Графік будується з початкового повного графа з малим N_0 , наприклад 5. Потім вузли додаються ітеративно. Для кожного доданого вузла додається посилення між двома вузлами. Два вузли вибираються випадковим чином із набору існуючих вузлів та нещодавно доданого вузла. Отже, модель мережі Callaway може вважатися варіантом мережі мережі ВА. Розподіл ступенів має експоненціальну форму.

Решітка (наприклад, кільцева решітка, сферична решітка, квадратна решітка, кубічна решітка). Решітка – це звичайна структура, за допомогою якої кожен вузол з'єднується із визначеною кількістю сусідів. Однак для квадратної решітки, наприклад, вузли на краю мережевої структури мають менший ступінь.

Двопартійна мережа (узагальнена до k - роздільна мережа). Двопартійна мережа складається з однієї підмережі N з n вузлів та іншої підмережі M з m вузлами. Існують посилення між вузлами в N і вузлами в M , але не між вузлами в N або між вузлами в M .

Зоряна мережа – це особливий випадок (N, M) двопартійна мережа; Це має $N = 1$.

Мережа дерев – це будь-який пов'язаний графік $L = N - 1$ посилення.

Складні мережі певного класу мають певні кваліфікаційні характеристики, одна з яких – ступінь розподілу. Перемотування мережі змінює топологію мережі з метою зміни певної характеристики мережі. Повторне з'єднання може призвести до того, що мережа перетворюється з одного класу графіків в інший клас графа. Якщо я розглянемо, наприклад, спостережувану мережу, яка класифікується як графік BA , і я застосую випадкову перемотування, мережа поступово стане мережею, що має характеристики ER випадкової мережі. З'єднання проводів більш докладно описано в розділі 7.

Ступінь D випадково вибраного вузла в графі зображує кількість прямих сусідів.

Градусний вектор представлений $[G_1, G_2 \dots G_N]$ T . Функція щільності ймовірності ступеня, PDF , визначається як $D(k) = Pr [D = k]$. Функція щільності ймовірності сумісного ступеня, яка є ймовірністю того, що два випадковим чином обрані вузли мають два конкретні значення ступеня, визначається як $f_{D_1 D_2}(k, l) = Pr [D_1 = k, D_2 = l]$. Коли випадковий вибір першого вузла стохастично не залежить від випадкового вибору другого вузла, то $f_{D_1 D_2}(k, l) = f_D(k) \cdot f_D(l)$. Асортативність стосується спільного розподілу ступенів для зв'язків у мережі. При випадковому виборі посилення L у графі, ступінь вузла на одному кінці посилення, G_{L-} , не стохастично незалежно від ступеня вузла на іншому кінці ланки, G_{L+} . Асортативність – це міра того, наскільки це D_{L-} і D_{L+} співвідносяться для мережі.

Дослідження асортативності часто включає мережеву трансформацію. Асортативність мережі може бути збільшена або зменшена за допомогою модифікації мережі, такої як додавання зв'язку, видалення зв'язку, проводка посилення та ступінь збереження проводки (DPR). DPR описаний у розділі 7.

1.2. Огляд літератури

Коли я розглядаю графік ER, існування зв'язку між двома вузлами не має відношення до ступеня цих відповідних вузлів. Розглядаючи графік BA, я спостерігаю, що переважне приєднання зв'язку між щойно доданим вузлом та існуючим вузлом функцією ступеня цього існуючого вузла. Для графіка BA з досить великим розміром мережі я спостерігаю, що в середньому для кожного вузла я, розподіл ступеня вузлів, підключених до вузла я, не залежить від ступеня вузла і себе: тобто кореляція ступеня не існує.

Ньюмен зауважив, що в багатьох реальних мережах ступінь вузлів, з'єднаних з випадково вибраним вузлом і має відношення до ступеня цього вузла і себе. Іншими словами $\Pr [D_j = k | j \sim i] \neq \Pr [D = k]$, $j \sim i$ що вказує на наявність зв'язку між будучи ступенем випадково вибраного сусіда j . Дві мережі з однаковим векторним ступенем можуть мати різну асортиментальність. Деякі значення емпірично знайдених асортиментальних показників, а також результати моделювання наведені в таблиці 1; [32] та [33] забезпечують подальші значення асортиментальності фактичних мереж.

Таблиця 1.1 – Асортативність за значенням для різних мереж

Мережа	Асортативність
Фізична співпраця [4]	0,363
Співавторство з математики [17]	0,120
Директори компаній (див. [37] для довідок)	0,276
Зв'язки між автономними системами в Інтернеті [7]	0,189
World Wide Web (див. [33] для довідок)	-0,067
Ненаправлені гіперпосилання між веб-сторінками в одному домені [2]	-0,065
Нейронна мережа (див. [37] для довідок)	-0,163
Мережа Ердош-Рені (ER) (великого розміру)	~0
Мережа Барабаші-Альберт (BA) (великого розміру)	~0

Автори фізики та автори математики, хоча останні в меншій мірі, як правило, публікують статті з іншими, які мають однаково високу або однаково низьку кількість публікацій, тобто утворюють асортіальну мережу. Що стосується з'єднань в Інтернеті, я помічаю, що високоз'єднані Автономні Системи (AS) підключені до інших AS, які самі по собі мають декілька (ер) з'єднань, тобто утворюють дезасортаційну мережу. Це ж спостереження стосується і непрямих гіперпосилань між веб-сторінками. Для експериментальних (тобто згенерованих) мереж ER та BA асортиментальність становить приблизно 0.

Асортативність має прямий зв'язок із стійкістю мережі, з точки зору сполученості мережі. Поломка або націлена атака на вузол високого ступеня в асортиментальній мережі залишить інші вузли високого ступеня, з'єднані один з одним. Це мінімізує шанс мережі в цілому відключитися. У дезасортаційній мережі вузли високого ступеня менш пов'язані один з одним. Багато шляхів між вузлами в мережі залежать від вузлів (-ів) високого ступеня. Поломка вузла високого ступеня в дезасортативній мережі, отже, матиме більший вплив на зв'язок мережі. Ньюмен [33] проводить загальне дослідження асоціативності, застосовувану в різних видах мережі та використовуючи різні характеристики вузла, на основі яких може відбуватися асортиментне змішування.

Піравенен провів широкомасштабне вивчення поняття асортиментальності [42]. Piraveenan вивчає, серед інших, існування мереж, які є ідеально асоціативний або ідеально розчаровує.

У ідеально асоціативній мережі всі вузли підключені до інших вузлів одного типу, наприклад, одного ступеня. Одним із прикладів є повна мережа, де всі вузли підключені до всіх інших вузлів і всі вузли мають ступінь $G_i = N - 1$.

Для такої мережі ступінь асортативності є максимальною, $\rho_D = 1$. Якщо мережа включає вузли з різним ступенем, то досконала

асортативність ступеня все ж можлива. Досконала ступінь асортиментальності була б досягнута, коли мережа роздроблена на підмережі, внаслідок чого кожна підмережа сама являє собою повну мережу. Ідеальної дезасортативності важче досягти. Один клас мережі, який визначається [49] як ідеально диссортативний, – це повний двопартійний графік, $K_{m, n, z_m \neq n}$. Зоряний графік – приклад повного двопартійного графіка, $K_{m, 1}$. Піравенен та ін. [39] асоціюють асортативність також із інформаційний зміст мережі.

Мережі, які мають ступінь асортації або ступеня дезасортації, мають більш високий інформаційний вміст, ніж мережі, які є неасортіальними. При розгляді випадкового вузла і мережею, що асоціює ступінь або дезасортацію ступеня, я знаю, яку ступінь очікувати для вузлів, підключених до вузла і. При розгляді випадкового вузла і мережі, що не відповідає асоціації, я не очікую ступеня (ів) вузлів, підключених до вузла і. Цей зв'язок між асортиментальністю та мережевою інформацією також спостерігав Соле та Вальверде [45]. Вміст інформації, пов'язаний з набором посилань графіка, визначено в [40] наступним чином:

$$I(q) = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} e_{j,k} \log \frac{e_{j,k}}{q_j q_k} \quad (1.6)$$

Для масштабних безкоштовних мереж я заміною в рівнянні. (7) N від N_p , N_p будучи точкою відсіку для безмасштабного розподілу градусів. Це впливає з рівняння (7) на те, що на інформаційний вміст мережі впливає співвідношення між ймовірністю спільного ступеня $e_{j,k}$ і добуток відповідних ймовірностей q_j і q_k . Змінюючи топологію мережі через, наприклад, електропроводку, я можемо збільшити або зменшити інформаційний вміст цієї мережі. Піравенан та ін. [40] спостерігали прямий зв'язок між інформаційним вмістом мережі та її (не) асортиментальністю мережі. Асортативність не виявляє інформації про окремі вузли. Мережа із заданою асортативністю містить вузли, які

сприяють цій асортативності. Не всі вузли в однаковій мірі сприяють асоціативності мережі. Мережа, яка не є асоціативною загалом можуть містити вузли, які самі по собі є високоасортивними, наприклад, містять вузли високого ступеня, які з'єднуються з іншими вузлами високого ступеня.

Мережі з однаковою асортативністю можуть мати різний розподіл внесок асортіальності на вузол. Асортативність внесок згадується як локальна асортісність [42] або асортативність вузла. Місцева асортиментальність додатково досліджується у розділі 10. Асортативність для мереж із зваженими зв'язками вивчає Чанг та ін. [6].

Обґрунтування полягає в тому, що в багатьох мережах зв'язок між двома вузлами може бути слабким або сильним, тобто може мати вагу, що відображає такі аспекти, як можливість передачі даних, вартість передачі даних або довжина. IP-мережі на базі OSPF – один практичний приклад, коли посилення мають певну вагу, а саме ємність передачі даних між двома підключеними маршрутизаторами OSPF 4. Ступінь вузла – це вже не дискретна кількість, а скоріше набір реальних змінних. Чанг та ін. [6] пропонують Міцність вузла – це сума ваг зв'язків, з'єднаних з цим вузлом. Отже, асортиментальність цих мереж стосується тенденції вузлів однакової або протилежної сили до з'єднання один з одним. Це визначення сили вузла також застосовується Вангом та ін. [63], який вивчає, серед іншого, розподіл ваги зв'язку для одного вузла.

Асортивність для мереж із зваженими посиленнями 5 також вивчається Ленгом і Чау [21]; зважена асортиментальність, ρ ш, пропонується в [21]. Розглядаючи мережу з зваженими посиленнями, я все ще можемо розрахувати (невагомі) асортименти, ігноруючи вагу посилень. Потім спостерігається (наприклад, у [21]), що ρ ш і ρ D може суттєво відрізнитися для мережі. Однак можна поставити під сумнів справедливість ігнорування ваг посилень у зваженій мережі. У цьому випадку посилення з невеликою вагою має те саме значення з'єднання, що

і зв'язок з великою вагою, тоді як ці посилання можуть значно сприяти надійності мережі та іншим характеристикам мережі. Кеніг та ін. [20] представити мережу модель трансформації при цьому стаціонарна, неасортійна або дезасортативна мережа мігрує в бік асортиментальної мережі.

Мережеве перетворення включає комбінацію додавання та видалення посилання (розпад існуючих посилань). Мотивація цієї моделі полягає в тому, що вузли в мережі, наприклад, мережа взаємодії з людиною або технологічна мережа, обмежені кількістю посилань, які вона може підтримувати. Ця модель суттєво відрізняється від моделей зростання мережі, наприклад, Катандзаро та ін. [4] та Піравенан та ін. [44], для генерації мережі із заданою асортиментальністю.

Для цих моделей мережа зростає за рахунок додавання вузлів і посилань, за деяким правилом. Ці моделі не визначають обмеження в кількості посилань, що трапляються на вузол. Також вони не розглядають питання про видалення посилань. Літвак і Ван дер Хофстад [25] зауважують, що мережі, які за своєю суттю є дезасортативними, такі як Інтернет, демонструють зменшення ступеня дезасортованості як розмір мережі. N збільшується, тобто ρ_D рухається в бік 0. Показано, що на асортиментальність мережі впливає розподіл ступенів вузлів у мережі. Широкий розподіл ступенів (діапазон значень градусів) має зменшуючий вплив на значення асортативності. Для великих мереж розподіл ступеня в середньому буде ширшим, ніж для малих мереж. Щоб пом'якшити цей очевидний недолік визначення асоціативності Ньюмена, Літвак та Ван дер Хофстад [25] пропонують рангову кореляцію як альтернативний метод розрахунку кореляції ступеня ступеня. Кореляція рангів визначається наступним чином:

$$\rho_n^{rank} = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i^X - (n+1)/2)(r_i^Y - (n+1)/2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (r_i^X - (n+1)/2)^2 \sum_{i=1}^n (r_i^Y - (n+1)/2)^2}} \quad (1.7)$$

Цим X і Y є випадковими змінними, що представляють ступінь на будь-якому кінці випадково вибраної ланки в мережі. Змінні r_i^X і r_i^Y є рангом спостереження X і Y відповідно для випадку, коли значення вибірки $(X_i) | i = 1 \dots n$ і $(Y_i) | i = 1 \dots n$ класифікуються у порядку зменшення. Кореляція рангів базується на класичному ρ Spearman б міра [46] (на відміну від асортативності, яка базується на Коефіцієнт кореляції Пірсона (Ван Мігем [50], гл. 2). Літвак і Ван дер Хофстад [25] показують, що визначення рейтингу дозволяє виявити дезархативність в мережах навіть для великих N і надалі пропоную, щоб кореляція рангів повинна поряд із асортиментальністю бути стандартним інструментом комплексного мережевого аналізу, зокрема мереж, які за своєю природою не є масштабними за ступенем розподілу.

Для визначення Ньюмена про асортиментальність рівняння. (1), рівняння (2), заснований на кореляції Пірсона коефіцієнт, графічне теоретичне позначення існує рівняння (14), рівняння. (15), Ван Мігем [49]. Для рангової кореляції, заснованої на мірі Спірмена, такого теоретичного позначення графа не існує. Виконуючи графічний аналіз, теоретичні позначення асортименталії працювати набагато простіше, ніж оригінальне визначення. Це робить асоціативність у практичних цілях привабливішою метрикою, ніж кореляційна кореляція.

Холм і Чжао [18] розглядають асоціативність з іншої точки зору. Холм і Чжао [18] визначають нульову модель для мережі, утворену ансамблем G (G), при цьому кожен елемент G становить мережу G' з тією ж послідовністю ступеня, що і G . G включає всіх G' які можуть утворитися з G , з однаковою послідовністю градусів. Усі елементи від G розміщуються у двовимірному просторі, утвореному асортиментальністю та коефіцієнтом кластеризації:

$$C = 3 \frac{n_{triangle}}{n_{triplet}} \quad (1.8)$$

де n трикутник – кількість трикутників (= замкнутий триплет, також

позначається як $\Delta(G)$ і n трійця – кількість підключених триплетів (підграф, що складається з 3-х вузлів, з'єднаних через два-три ланки). Обхід цілого G , тобто генерування всіх елементів $G' \subset G$, є нетривіальним. Існує кілька методик перетворення мережі для збільшення або зменшення асортиментальності. Вінтербах та ін. [55] дослідження а жадібний ступінь збереження підключення підключення. Ван Мігхем та ін. [49], і Нолдус і Ван Мігхем [36] застосовують цілеспрямований підхід для вибору посилань, що підлягають повторному з'єднанню, щоб вплинути на асортиментальність, не впливаючи на ступінь послідовності.

Розміщення елементів з G у згаданий двовимірний простір, утворений ρ D (горизонтальна вісь) і C (вертикальна вісь) забезпечує нульову модель. При аналізі спостережуваної мережі G , внаслідок чого обчислюється асортиментальність і коефіцієнт кластеризації цієї мережі, мережа може бути прив'язана до відповідного положення в просторі кластеризації асортиментальності. Тоді я можемо визначити, наскільки далеко асортиментальність мережі G може збільшуватися або зменшуватися, і який коефіцієнт кластеризації може бути досягнутий. Може бути розроблений інший двовимірний метричний простір, такий як асортативність проти середнього найкоротшого шляху або асортативність проти ефективного опору графіка.

Кожен такий двовимірний метричний простір, який служить нульовою моделлю для спостережуваної мережі, може бути використаний для інтерпретації потенційного діапазону асортативності мережі. Інакше кажучи, це візуалізує ступінь, в якому збільшення або зменшення асортиментальності мережі може вплинути на інші показники.

Поняття нульової моделі у графіку застосовують також Маслов та Снеппен [70]. Їх нульова модель формується набором вузлів N , при цьому кожен вузол в N має той же ступінь, що і відповідний вузол в G . Отже, ступінь кожного вузла в G нуль ідентичний ступеня відповідного вузла в G . Однак посилання розподіляються випадковим чином. G нуль може

генеруватися випадковим перемотуванням усіх посилянь. G нуль матиме ймовірність $P_{\text{нуль}}[D_i = k, D_j = l]$, чим i і j – це вузли в кінці випадково вибраного посиляння та k і l їх відповідних ступенів. Для спостережуваної мережі ймовірність спільного ступеня випадково вибраної ланки визначається як $P[D_i = k, D_j = l]$. Візуалізація (кольорове малювання) співвідношення $P[D_i = k, D_j = l] / P_{\text{нуль}}[D_i = k, D_j = l]$ показує (не) асортиментальну чи неасортіальну тенденцію для вузлів різного ступеня. Наступним цікавим спостереженням Маслова та Снеппена [70] є те, що при розгляді всіх вузлів j які є сусідом певного вузла i , певні види мереж мають співвідношення потужності та закону між $E[D_j]$ і D_i для вузла i з $D_i = k$.

Зокрема, вузли i з високим D_i мають низький рівень $E[D_j]$. Це спостерігається в Інтернеті та білкових мережах. Ця характеристика мережі в середньому стримує поширення шкідливої інформації / даних. Естрада [14] запроваджує метод визначення того, чи є мережа асортиментальною, перевіряючи такі структурні характеристики мережі: (а) коефіцієнт кластеризації (також відомий як транзитивність), (б) інтермодулярну зв'язність та (в) розгалуження. Асортативність переписана у [14] у вираз, що містить, серед іншого, коефіцієнт кластеризації, інтермодулярну зв'язність та розгалуження.

Перевіряючи співвідношення між цими трьома мережевими показниками, можна визначити, чи є мережа асортативною, дезасортативною чи неасортіальною. Показано, що і коефіцієнт кластеризації, і міжмодулярна зв'язність позитивно впливають на асортативність, тоді як розгалуження негативно впливає на асортативність. Результат Естради [14] відповідає тому, що емпірично спостерігається кореляція між коефіцієнтом кластеризації та асортативністю, а також між модульністю та асортативністю. Мережі з високою модульністю та високим коефіцієнтом кластеризації зазвичай є асоціативними. Це також спостерігає Юссеф та ін. [59]. Якщо асортиментальність представлена як

одне значення в діапазоні $[-1,1]$, то асортиментальність мережі є певним чином поданням характеристики, яка може відрізнятися для кожного вузла в графі. Кожен вузол i у графі має певне значення підключення G_i , тобто ступінь вузла. Кожен сусід j вузла i сама по собі також має зв'язок G_j . Для кожного вузла i , можна визначити середній ступінь його сусідів. Таким чином, $E[D_i]$ можемо обчислити середнє значення G_j , $E[D_i]$ як функція G_i . Цей підхід вивчає Пастор–Саторрас та ін. [37]. Для асортитивних мереж $E[D_i]$ зростатиме за збільшенням G_i , в той час як для дисасортитивних мереж, $E[D_i]$ зменшиться для збільшення G_i . Для неасортитивних мереж, $E[D_i]$ залишатиметься постійною для збільшення чи зменшення G_i . Лі та ін. [23] пропонують мережеву метрику, яка пов'язана з асортиментальністю, а саме Ймовірність C , які i позначаю як L_h , розглядає ступінь сусідніх вузлів. Ймовірність виникнення графіка $G(N, L)$ визначається так:

$$C = 3 \frac{n_{triangle}}{n_{triplet}} \quad (1.9)$$

Ймовірність відповідає другому загребському індексу, визначеному Гутманом та Тринайстиком [68]. Для порівняння графіків різного класу та розміру, визначення ймовірності, наведене у рівнянні (10) нормалізується в межах $L_h(G)_{\min}$ і $L_h(G)_{\max}$. поступаючись нормалізована ймовірність L_h норма (G).

$$L_{h_{norm}}(G) = \frac{L_h(G) - L_h(G)_{\min}}{L_h(G)_{\max} - L_h(G)_{\min}} \quad (1.10)$$

Крайні значення $L_h(G)_{\min}$ і $L_h(G)_{\max}$ відносяться до графіка певного розміру N і встановлений ступінь Нормована ймовірність має значення в межах $[0,1]$. Розрахунок L_h норма (G) вимагає цього $L_h(G)_{\min}$ і $L_h(G)_{\max}$ розраховуються. Лі та ін. [23] покажіть як $L_h(G)_{\min}$ і $L_h(G)_{\max}$ можна розрахувати. Для зміни мережевої топології, такої як ступінь

збереження перемотування, абсолютна зміна L_h норма (G) можна легко перерахувати, як товар G_i G_j зміни лише для вузлів, що беруть участь у перемотуванні, а значить, $L_h(G)$ можна перерахувати. З тих пір $L_h(G)$ макс і $L_h(G)$ хв є постійними для постійної послідовності градусів, L_h норма (G) для повторного графіка впливає з $L_h(G)$ з повторного графіка. Лі та ін. [23] показують залежність між вірогідністю та асортативністю. Однак додаткові експерименти не проводяться, щоб вивчити співвідношення ймовірності та асортиментальності для мережі певного класу та градусна послідовність. За допомогою мережевої проводки я можемо варіювати асортиментальність мережі між її мінімальним та максимальним значенням

1.3 Постановка задачі

Я досліджую концепцію асортативності, починаючи з її первісного визначення Ньюманом у 2002 році. Ступінь асортативності є найбільш часто використовуваною формою асортативності. Ступінь асортиментальності широко використовується в мережевій науці. Оскільки однакова асортативність ступеня недостатня як інструмент аналізу графіків, зазвичай асортиментальність поєднується з іншими показниками графіків. Значна частина досліджень асортиментальності стосується непрямих, незважених мереж. Дослідження асортиментальності потрібно розширити, щоб охопити також спрямовані та зважені ланки. На додачу, співвідношення між асортативністю та лінійними графіками, додаткові графіки та спектри графіків потребують подальшої роботи, щоб включати спрямовані графіки та зважені посилення. Цей документ має на меті узагальнити роботу в цій галузі та запропонувати новий обсяг досліджень.

2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА АЛГОРИТМИ

2.1 Ступінь асортиментальності незважених, спрямованих графіків

Ступінь асортиментальності для спрямованих мереж дотримується того самого принципу, що і ступінь асортативності для непрямих мереж. Eq (2) можна узагальнити для спрямованих мереж. Ньюмен [33] визначає ступінь асортативності спрямованих мереж так:

$$\rho = \frac{\sum_{jk} jk(e_{jk} - q_j^{in} q_k^{out})}{\sigma_{in} \sigma_{out}} \quad (2.1)$$

де v , w поза позначають відповідно ступінь i та ступінь e_{jk} фракції ланок, що з'єднують вузол із зовнішнім ступенем k до вузла з ступеня j , чим \in

$$q_j^{in} = \frac{(j+1)p_{j+1}^{in}}{\sum_j j p_j^{in}} = \frac{(j+1) \Pr[D_{in} = j+1]}{E[D_{in}]} \quad (2.2)$$

нормалізований розподіл за ступенем, де D_{in} – ступінь випадково вибраного вузла

$$q_k^{out} = \frac{(k+1)p_{k+1}^{out}}{\sum_k k p_k^{out}} = \frac{(k+1) \Pr[D_{out} = k+1]}{E[D_{out}]} \quad (2.3)$$

нормалізований розподіл поза-ступеня, де D_{out} – це ступінь випадково вибраного вузла. Асортиментація Ньюмена (19) для спрямованих мереж розглядає кореляцію між ступенем вузла та відповідними ступенями сусідніх вузлів та співвідношенням між ступенем

вузла та відповідним вищим ступенем суміжних вузлів. Однак може бути більш логічним, якщо асортиментальність для спрямованих мереж вимірює співвідношення між вузлами, враховуючи їх відповідну ступінь або відповідну їх ступінь.

Обґрунтування полягає в тому, що ступінь і ступінь є характеристикою вузла, а коефіцієнт кореляції повинен базуватися на порівнянні характеристики. Піравенан та ін. [41] пропонують модифіковане визначення асортиментальності для спрямованої мережі, використовуючи цей (інтуїтивно зрозумілий) більш логічний підхід. Деякі приклади спрямованих мереж – це адреси електронної пошти (Newman [32]), залежності від всесвітньої мережі Інтернет та програмного забезпечення. Моделі створення графіків, які зазвичай використовуються для непрямих мереж, не можуть бути безпосередньо використані для спрямованої мережі. Моделі описують “додавання посилання”, але не описують, як обрано напрямок цього посилання. Більш конкретно, процеси генерування графіка класу ER, BA або WS не враховують напрям посилання.

Для того, щоб мати можливість вивчати спрямовані мережі різного класу та конкретно вивчати асортименти цих спрямованих мереж, такі моделі будуть потрібні. Лі та ін. [22] опишіть метод генерації графіка з необхідною спрямованістю. Чен та Ольвера [7] описують методи створення спрямованих графіків із заданим ступінковим та позаступеневим розподілом. Крім того, способи перемотування потрібно вдосконалити для розгляду спрямованих посилань. Модель зростання мережі також повинна визначати вагу доданого посилання. Крім того, модель зростання повинна збільшити вагу існуючих ланок. Отже, не тільки розмір мережі (набір вузлів, N) і кількість посилань (набір посилань, L) зростає, але з часом ваги зв'язків у мережі змінюватимуться. Ленг і Чау [21] пропонують модель зростання для мережі, що складається з зважених зв'язків. При аналізі спрямованих мереж через їх асортиментальність

може бути застосований багат шаровий підхід. Для спрямованої мережі асортиментальність може бути диференційована у трьох класах: (i) ступінчаста асортативність, яка вимірює схильність вузлів, що мають особливий ступінь, до з'єднання з іншими вузлами з однаковим ступенем або з різним ступенем; (ii) поглинаюча асортативність, яка вимірює схильність вузлів з особливою ступінчастістю до підключитися до інших вузлів з однаковим ступенем або з різним зовнішнім ступенем; та (iii) загальна асортативність, яка утворює агрегацію ступеня асортативності та виходу ступінь асортативності. Мережа може бути асоціативною за ступінь, але дезасортативною за її ступінь або навпаки. Піравенан та ін. [41] вивчили цю диференційовану форму асортативності. Майєрс [69] також вивчає розподіл ступенів та співвідношення ступенів для спрямованих графіків у «мережах», побудованих із програмних залежностей. Майєрс [69] дійсно зауважує, що спрямовані мережі можуть проявляти різну асортативність при врахуванні напрямку.

2.2 Співвідношення між асортиментальністю та спектрами графіків

Спектр графіка [51] визначається як набір власних значень певної матриці зв'язку цієї мережі разом з відповідними власними векторами. Матриця Лапласія Q з G визначається як $Q = -A$, де A є матрицею суміжності і $i = \text{діагностувати}(G, i)$. У спектральному графіковому аналізі зазвичай використовуються такі графічні спектри: Власні значення суміжності Набір N власні значення $\lambda_N \leq \lambda_{N-1} \leq \dots \leq \lambda_1$ матриці суміжності A . Найвище власне значення Росії A , λ_1 , відомий як спектральний радіус. Різниця між λ_1 і λ_2 відомий як спектральний проміжок. Лапласійські власні значення Цей спектр виведений з матриці Лапласія Z . Він утворений набором N власні значення, $0 \leq \mu_{N-1} \leq \dots \leq \mu_1 \leq 3$.

Друге найменше власне значення Графічні спектри були широко

вивчені і виявились корисним інструментом для оцінки суттєвих властивостей мережі. Я посилаюсь на Цветковича та ін. [9] для дослідження спектру суміжності та Мохара [30] для дослідження лапласіанського спектру та Ван Мігема [51] для проведення широкого аналізу використання графічних спектрів для складних мереж.

Спектральний радіус представляє особливий інтерес для мережі. Нам цікаво знати як λ_1 відноситься до асортативності. Чи існує зв'язок між асортативністю та λ_1 ? Як правило, я це помічаю зі збільшенням $\rho(D)$, також спостерігається збільшення λ_1 . Отже, якщо я хотіли б мати великий λ_1 , то одним із способів досягнення цього є підвищення асортиментальності графіка. Збільшення асортиментальності також призводить до більш швидкого поширення інформації (у тому числі вірусу!) Через мережу, через високу взаємозв'язок вузлів високого ступеня. Це швидше розповсюдження інформації із збільшенням асортативності спостерігається, незважаючи на те, що посилення асортативності також призводить до вищого середнього числа стрибків. Крім того, це показано Ван Мігемом та ін. [49], що збільшення λ_1 може призвести до несвязності графіка. Нас також цікавить співвідношення між алгебраїчною зв'язковістю та асортативністю. В [49] показано, що зі зменшенням асортиментальності графа, до дезасортативності, λ_1 зменшується, але μ_{N-1} збільшується. А вищий μ_{N-1} переводить на підвищену топологічну надійність мережі.

Як правило, я це помічаю зі збільшенням $\rho(D)$, μ_{N-1} зменшується. Отже, впливаючи на асортативність графіка, я можемо впливати μ_{N-1} . Тим більше, зробивши мережу більш безсоромною, я можемо покращити топологічну стійкість. Але це одночасно знизить швидкість поширення інформації через мережу. Для вираження ефективного опору графа може бути використаний лапласіанський спектр графіка. Ефективний опір графа спочатку визначається як (Клейн та Рандіч [19]):

$$R_G = \sum_{1 \leq i, j \leq N} R_{ij} \quad (2.4)$$

Де R_{ij} – ефективний опір між вузлом i і вузол j у графі. Ефективний опір графа також виражається як:

$$R_G = N \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{\mu_i} \quad (2.5)$$

Де μ_i є i го власне значення матриці Лапласія G . Ван Мігхем та ін. [48] показують, що збільшення асортиментальності призводить до збільшення R_G . Залежно від фактичної мережі, збільшення асортиментальності вище певного значення призводить до різкого підйому R_G і врешті–решт R_G підходи ∞ . Це можна пояснити вищезгаданим фактом, що збільшення асортативності врешті–решт призведе до невмілості графіка, отже $R_G = \infty$.

2.3 Вплив на асортативність через зміни топології мережі

У попередніх розділах показано, що асортиментальність мережі являє собою специфічний структурний аспект цієї мережі і що я можемо захотіти впливати на цей конкретний аспект мережі. Наприклад, я можемо захотіти збільшити радіус спектра, $\lambda > 1$, або збільшити алгебраїчну зв'язність, $\mu > N - 1$. У цьому розділі видно, що я можемо змінити ці спектральні значення, змінивши асортиментальність графіка. Чжоу та ін. [61] розглянемо асортативність для одиночних, автономних мереж проти асортиментальності для взаюзалежних мереж. Вони зауважили, що підвищення асортиментальності мережі робить мережу більш надійною проти усунення вузлів, але в той же час робить мережу менш стабільною. Однак, Далі в [61] зауважено, що для взаюзалежних мереж збільшення

асортиментальності зменшує стійкість взаюзалежних мереж.

Як правило, змінюючи асортименти мережі через топологічні зміни в цій мережі, я змінюю й інші показники цієї мережі, наприклад, ефективний опір графіка. Збільшується ρ D через ступінь збереження перемотування (DPR) призводить до збільшення R G . Застосовуючи додавання посилення замість DPR, обидва ρ D і R G може потенційно покращитись. Елленс та ін. [11] дослідити методи вдосконалення R G через додавання посилення. D'Агостіно та ін. [1] також вивчали вплив асортативності на надійність мережі. Загальний висновок полягає в тому, що дезасортативні мережі легше щепнути через більш високий епідеміологічний поріг. Незважаючи на те, що асоціативні мережі більш схильні до поширення збоїв, ці мережі потребують більш тривалого часу для втручання для запобігання подальших збоїв (поширення епідемії). Асортативність мережі стосується як стійкості мережі проти відмови вузла, так і динамічної поведінки мережі щодо розповсюдження відмов. Траяновський та ін. [47] ввели поняття оболонки стійкості та визначили, що залежність між асортативністю та стійкістю проти відмови вузла залежить від типу відмови.

Помірне збільшення асортативності збільшує стійкість мережі проти націлених атак на вузол, тоді як помірне зниження асортативності збільшує стійкість мережі до випадкових рівномірних атак вузлів (або поломки вузла). Зміна топології мережі може приймати різні форми. Я визначаю: (i) додавання ланки, (ii) видалення з'єднання, (iii) перемотування з'єднань та (iv) збереження ступеня проводки (DPR). Обґрунтування ДНР полягає в тому, що послідовність ступенів (1 вул Показник графіку порядку) не впливає, тоді як асортимента або інші 2 другий зміни в матриці графіка порядку.

Вплив на асортативність за допомогою модифікації мережі сильно залежить від виду модифікації, від ланки (–ів) та вузлів, що беруть участь у модифікації, та від класу мережі. Модифікація топології вплине також на

інші показники мережі, ніж асортиментальність.

Наприклад, видалення зв'язку збільшить середній найкоротший шлях у мережі або може відключити графік; це також збільшить ефективний опір графіка. Видалення посилання, додавання посилань та перенаправлення посилання (якщо не пара) впливатимуть на ступінь вектора графіка. Отже, зміни топології мережі на практиці будуть обмежені певними обмеженнями. DPR тягне за собою те, що мережа перемотується таким чином, що градусний вектор $d = [d_1, d_2, d_3, \dots, d_N]$ зберігається. Розподіл вірогідності ступеня не змінюється, але спільний розподіл ступеня $F_D(D_1, D_2, \dots, D_L)$ для двох випадково вибраних вузлів може вплинути. DPR – це поширена методика модифікації мережі без зміни G . DPR має практичну характеристику, що вузол зберігає кількість трафіку. Один видатний приклад складається з IP-маршрутизаторів, які мають певну кількість інтерфейсів. IP-підмережа може бути з'єднана, зберігаючи кількість кабелів на маршрутизаторі постійною. Залишаючи векторний ступінь незмінним, я можемо впливати на асоціативність мережі через DPR. Це зображено на рисунку 2.1.

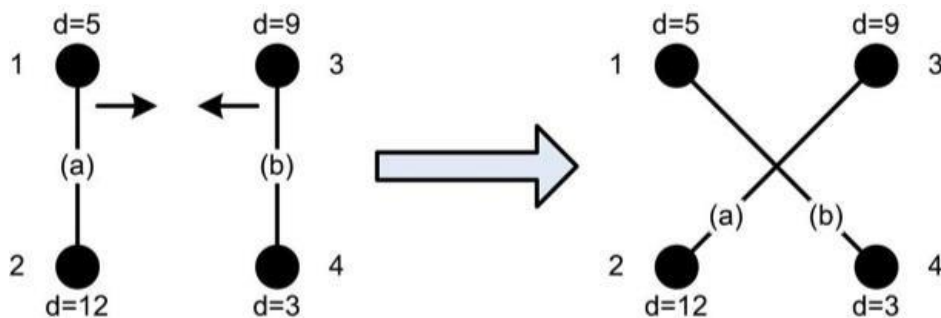


Рисунок 2.1: Ступінь збереження ступеня проводки

Перемотування, зображене на рисунку 13, стосується графіків з непрямыми, неваговими зв'язками. Шляхом повторного підключення вузла 2 до вузла 3 і вузла 4 до вузла 1 обидва вузли 2 і 3 стають більш асортиментальними, оскільки тепер вони з'єднані з іншими вузлами

(вузлами 3 і 2 відповідно), які мають ступінь, наближений до власного ступеня. Вузли 1 і 4 також стають більш придатними, переводячи їх на інші вузли зі ступенем, наближеним до власного ступеня. Основа зміни асортиментальності завдяки ДНР наведена в леммі 1 у Ван Мігемі та ін. [49]. DPR збільшує або зменшує асортиментальність з множинами детермінованого значення. Eq (15) переписується як:

$$\rho(G) = 1 - \frac{(d_{l_1} - d_{l_2})^2}{S} - \dots - \frac{(d_{l_n} - d_{l_{n+1}})^2}{S} \quad (2.6)$$

де,

$$S = \sum_{i=1}^N d_i^3 - \frac{1}{2L} \left(\sum_{i=1}^N d_i^2 \right)^2 \quad (2.7)$$

Можуть бути розроблені різні стратегії, щоб дозволити конвергенції мережевої топології за якомога менше кроків перемотування до бажаного стану. Крім того, стратегія перемотування повинна бути такою, щоб параліній, яка підходить для повторного з'єднання, була знайдена якнайменше спроб. Вінтербах та ін. [55] накреслили методологію вичерпного перемотування мережі, вивчаючи, чи жадібний підхід дає оптимальну асоціативність для мережі у розумні строки. Підхід у Вінтербах та ін. [55] ґрунтується на побудові множини R всіх перемикаючих пар ланок у мережі.

Перемотування проводиться шляхом вибору пари ланок з R і перевірки, що повторне з'єднання цієї пари зв'язків збільшить асортиментальність. Дія перемотування призводить до зміни R; деякі пари ланок у R більше не підлягають перезапису, і додаються нові пари, що відновляються. Отже, R доведеться оновлювати після кожного кроку перемотування. Насправді, особливо коли підключення проводиться у великих мережах, при доступі до 1000 вузлів, оптимізований алгоритм пошуку перезахисних посилок стає вирішальним для обмеження часу

обчислення. Необхідність такого оптимізованого алгоритму далі залежить від практичного використання мережевої електропроводки. Коли метою перемотування є перетворення мережі на її оптимальну асортиментальність (або іншу необхідну метрику), тоді потрібно багато повторних етапів перемотування.

Альтернативно, мета може полягати в тому, щоб збільшити асортиментальність до визначеної абсолютної величини або збільшити асортиментальність із визначеним коефіцієнтом. У таких випадках може знадобитися менше кроків перемотування. Вінтербах та ін. [55] походять також ан точний метод розрахунку максимальної асортиментальності, яка може бути досягнута за допомогою ДНР. Цей метод має обчислювальну складність C порядку $C = O(N^6)$, тому метод практично підходить лише для невеликих мереж. Нолдус і Ван Мігхем [36] описують метод асортиментної перемотки шляхом упорядкування вузлів відповідно до їх ступеня. Перша ланка пари вузлів формується шляхом вибору вузла з найвищим ступенем та вибору ланки, що з'єднує цей вузол з іншим вузлом, що має найнижчий ступінь усіх вузлів, підключених до цього першого вузла. Друга послання виявляється шляхом вибору вузла з найнижчим ступенем та вибору ланки, що з'єднує цей вузол з іншим вузлом, що має найвищий ступінь усіх вузлів, підключених до цього другого вузла.

Такий підхід дотримується крок перемотування, зображений на рисунку 13. Коли буде знайдена пара послань, можна перевірити, чи виконуються умови для повторної проводки, а саме: послання не мають спільного вузла, повторне з'єднання не повинно призводити до перекриття ланок, а повторне з'єднання не повинно призвести до відключення графіка. Для DPR можна знайти пари ланок, які збільшать асоціативність мережі (Van Mieghem) та ін. [49], Нолдус і Ван Мігем [36]). Ще не вивчено, як детерміновано знайти пару ланок, що забезпечить найбільше абсолютне збільшення чи зменшення асортиментальності. При застосуванні ДНР графік G трансформується в G' . Графіки G і G' належать до набору

графіків G з тим же ступенем вектора G . Однак все-таки слід довести, чи всі $G' \in G$ можна досягти через DPR, починаючи з G .

Набір G насправді може містити кілька кластерів G' , кожен кластер, що містить графіки, які можуть бути створені за допомогою ітеративної перемотування з будь-якого іншого графа в цьому кластері, але не з графіка, що знаходиться в іншому кластері. Набір G може відображатися через сам графік, $G(N, L)$, при цьому кожен вузол $\in N$ являє собою (повторний) графік G і кожне посилення $\in L$ представляє дію перемотування. Коли G не пов'язаний, то, мабуть, неможливо переключитися між усіма G' . В даний час не існує відомої методології для ефективного визначення абсолютних меж асортативності, які можна досягти за допомогою ДНР, крім вичерпного аналізу: повторне з'єднання G до всіх можливих G' , потім перемотування кожного отриманого G' до всіх можливих G'' , з G'' не є ізоморфним для G або будь-який із уже отриманих G' або G'' . Потім цей процес слід продовжувати до тих пір, поки не буде можливим подальша перемотка. Потім повний комплект G визначається і діапазон асортативності $G' \in G$ можна визначити, але лише для кластера в G що G належить. Крім того, замість використання проводки для досягнення а G' при мінімальній або максимальній асортиментальності можуть застосовуватися інші зміни топології мережі, такі як додавання зв'язку або оновлення зв'язку (збільшуючи пропускну здатність ланки). Є мало джерел, в яких б досліджувався вплив на асортативність від цих змін мережевої топології.

Хіа також вивчає зміну асортиментальності мережі, зберігаючи векторний ступінь незмінним та ін. [56]. Їх метод заснований на випадковому виборі пар ланок для перемотування мережі, у випадку, коли повторне з'єднання призводить до збільшення або зменшення асортиментальності, якщо це доречно, і в іншому випадку відмовляється від проводки і (випадковим чином) вибирає наступну пару ланок.

Цей метод пояснюється його випадковістю, яка вважається менш

ефективною, ніж метод, застосований, наприклад, Noldus та Van Mieghem [36], де застосовується вибір набору цільових ліній. Ся та ін. показують, що, зменшуючи асортиментальність безмасштабної мережі, зберігаючи вектор ступеня незмінним, швидкість падіння пакетів мережі знижується, тобто покращується продуктивність мережевого трафіку. Тест був зроблений для моделі трафіку, яка представляє типову модель трафіку в Інтернеті. Швидкість падіння пакетів для одного вузла, очевидно, пов'язана з ємністю цього вузла і кількістю трафіку, який планується пройти через цей вузол. З [56] я дізнаюся, що для оптимізації продуктивності мережі для пропускної спроможності мережі може бути застосована також електропроводка. Повторне підключення проводиться для збалансування трафіку по вузлах мережі. Тут я зауважую, що оптимальна конфігурація мережі з точки зору збалансованого потоку трафіку через відповідні вузли мережі залежить від моделі трафіку. Для даного мережного примірника, будь-яка модель руху призведе до певного навантаження на кожен із вузлів. Це навантаження може бути виражене як “трафік між” вузлом. Значення міжряддя для вузла враховує найкоротші шляхи для будь-якої пари вузлів у мережі, що проходить через цей вузол. Міжмісний трафік враховує також потік руху для кожного шляху. Найкоротший шлях, що переносить більше трафіку, пропорційно більше сприяє посередництву вузла, ніж найкоротший шлях, що містить менше трафіку.

Потрібна подальша робота щодо виявлення взаюзв'язку між асортісністю та міжмісністю. Як також вказував Мартін–Ернандес Міжмісний трафік враховує також потік руху для кожного шляху. Найкоротший шлях, що переносить більше трафіку, пропорційно більше сприяє посередництву вузла, ніж найкоротший шлях, що містить менше трафіку. Потрібна подальша робота щодо виявлення взаюзв'язку між асортісністю та міжмісністю. Як також вказував Мартін–Ернандес Міжмісний трафік враховує також потік руху для кожного шляху.

Найкоротший шлях, що переносить більше трафіку, пропорційно більше сприяє посередництву вузла, ніж найкоротший шлях, що містить менше трафіку. Потрібна подальша робота щодо виявлення взаюзв'язку між асортісністю та міжмісністю. Як також вказував Мартін–Ернандес та ін. [64], вузли або зв'язки з високою міжмісткістю спричинили б більше порушення трафіку, коли вони зазнають збою в порівнянні з вузлами або посиланнями з низькою міжмісністю.

Повторне з'єднання мережі вплине на взаюзв'язок окремих вузлів та окремих посилянь. Отже, не всі можливі кроки DPR можуть бути здійсненими, оскільки деякі етапи перемотування можуть призвести до збільшення міжмістності певного вузла або ланки понад порогове значення. Xulvi–Brunet & Sokolov [58] застосовують DPR до неасортативного, безмасштабного графіка, щоб або збільшити асортиментальність до максимального значення (мережа стає дедалі більше асортиментальною), або знизити асортиментальність до мінімального значення (мережа стає дезасортативною). Різні показники порівнюються проти збільшення асортиментальності / дезасортативності. Наступні ефекти спостерігаються:

- Підвищення асортісності при $\rho D > 0$
- Середня кількість хмелю $E [N]$ швидко росте. Логарифмічне відношення між $E [N]$ і N , що я зазвичай спостерігаю для безмасштабних мереж, зберігається, коли ρD збільшується.
- Середній коефіцієнт кластеризації C збільшується.
- Інформація, що поширюється через мережу, розглядаючи кожен окремий вузол у мережі як джерело інформації, стає повільнішою. Підвищена асортиментальність матиме наслідком того, що інформація швидко надходить у вузли високого ступеня, оскільки вузли високого (e_r) –градусу підключені до інших вузлів високої (e_r) –градуси. Але подальший розподіл на (віддалені) вузли з нижчим ступенем буде повільнішим, оскільки ці вузли низької (e_r) ступеня з'єднані з іншими вузлами низької

(e_r) ступеня.

- Зачіпається проколювання вузлів. Коли асортиментальність мережі зростає, мережа буде легше розпадатися в результаті видалення дробу, q , вузлів у мережі ($0 \leq q \leq 1$).

- Зниження асортиментальності, коли $\rho D < 0$

- Середній коефіцієнт кластеризації C зменшується і з часом стане 0. Порівняйте: зіркова мережа має коефіцієнт кластеризації = 0 (в мережі немає циклів) і є максимально недиссортуючою.

- Інформація, що поширюється через мережу, розглядаючи кожний окремий вузол у мережі як джерело інформації, показує короткі “вершини та долини”. Інформація швидко поширюється, коли інформація досягла вузла високої (e_r) ступеня, оскільки цей вузол високої (e_r) ступеня охоплює велику кількість підключених вузлів. Однак від відповідних підключених вузлів інформація поширюється повільніше, оскільки, як правило, ці підключені вузли мають вузли низького ступеня (e_r) ступеня, що впливає з дезасартаційного характеру мережі. Однак вузли низького ступеня (e_r) ступеня пов'язані з (малою) кількістю вузлів високої (e_r) ступеня, тому інформація знову почне швидше поширюватися тощо.

- На проникнення вузлів впливає мінімально. Коли дезасортативність мережі зростає, мережа трохи легше розпадається в результаті видалення фракції, q , вузлів у мережі ($0 \leq q \leq 1$).

2.4 Співвідношення асортиментальності та лінійних графіків

Графік $G(N, L)$ може бути представлений у вигляді лінійного графіка $H(N_H, L_H)$, чим N_H представляє кількість вузлів у H і L_H представляє кількість посилянь у H (Лю та ін. [27]). Лінійні графіки часто використовуються як мережева модель для певних мережевих структур у реальному світі. Лінійний графік створюється наступним чином:

На рисунку 2.2 показано кілька прикладів графіка G та їх

відповідний лінійний графік H .

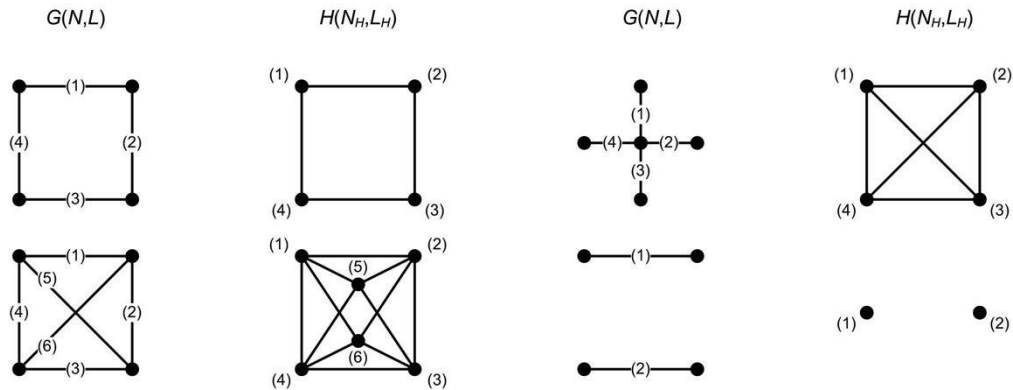


Рисунок 2.2: Приклад графіків та відповідних лінійних графіків

Я розглядаю тут лише графіки з непрямыми, не зваженими посиланнями.

Манка–Красон та Кулаковський [29] показують, що лінійні графіки простих, не спрямованих графіків завжди показують позитивну лінійну ступінчасту ступінь кореляції, що перетворюється на асортативність, тобто $\rho D > 0$. Цей результат [29], схоже, суперечить Лю та ін. [27]. Для мереж G згенерований у [27], $\rho D(G)$ поступово збільшується до 0; то $\rho D(H)$ для кожного G коливається в межах 0, в т.ч. $\rho D(H) < 0$. Лю та ін. [26] [27] побудуйте кореневий графік з лінійного графіка. Побудований початковий лінійний графік, що містить набір кліків, а також відповідний кореневий графік. Кореневий графік, що відповідає початковому лінійному графіку, – це сукупність зіркових графіків, кожна зірка відповідає кліці в початковому рядку.

Оскільки зірковий графік має $\rho D = -1$, графік G що складається з колекції зірок також $\rho D = -1$. Лінійний графік ітераційно перетворюється шляхом об'єднання двох випадково вибраних вузлів, для яких $\text{год} > 1$, тобто належать різним клікам від початкового лінійного графіка. Кожне таке перетворення лінійного графіка перекладається на зменшення кількості вузлів у відповідному кореневому графіку, з $k = 1$.

Кореневий графік стає більш придатним на кожному кроці, до $\rho D = 0$. Варіюючи кількість кліків на початковому лінійному графіку та розмір кліків, мережу з потрібним ρD в діапазоні $-1 \leq \rho D \leq 0$ можна створити. (якщо бути точним: процес можна повторювати до тих пір, поки $\rho D \geq \rho$ бажаний.) Отже, модель, представлена в [27], може бути використана для генерації графіків з бажаною асортиментальністю.

Манка–Красон та Кулаковський [29] застосували інший підхід для формування лінійних графіків. Створюється велика кількість реалізацій певного класу графів (ER та BA). Для кожної реалізації графіка генерується відповідний лінійний графік. Це інший спосіб побудови графа, ніж спосіб генерування графіків у [27], що пояснює різницю результатів щодо значення асортиментальності для лінійних графіків. Поки ще не доведеться дослідити, як аналіз асортисності мережі, такий як підвищення асортативності мережі через DPR, може сприяти, аналізуючи лінійний графік мережі, замість аналізу вихідного графіка мережі. Наприклад, збільшення асортативності за допомогою DPR може бути здійснено шляхом застосування алгоритму для пошуку відповідних пар ланок в G . Такий алгоритм може бути похідний від лінійний закон для асортативності, розроблений Лю та ін. [27]. Алгоритм повинен детерміновано знаходити пару ланок, яка дає максимальне збільшення (або зменшення) асортиментальності при збереженні ступеня перемотуванням.

2.5 Співвідношення між асортиментальністю та додатковими графами

Матриця суміжності комплементу G с з G позначається A с, чим A с = $J - Y - A$, чим $J = uu^T$ (всі одна матриця) і Y є матрицею ідентичності (Ван Мігхем [51]). Ван та ін. [52] показують, що існує лінійна залежність між ступенем асортативності вихідного графіка, $\rho D(G)$, і ступінь асортативності додаткового графіка, $\rho D(G^c)$. Асортативність для

додаткового графа виражається як [52]:

$$\rho_D(G^c) = -\rho_D(G) \frac{2L\sigma^2[D_{l+}(G)]}{(N(N-1)-2L)\sigma^2[D_{l+}(G^c)]} + 1 - \frac{N^2\sigma^2[D(G)]-2L\sigma^2[D_{l+}(G)]}{(N(N-1)-2L)\sigma^2[D_{l+}(G^c)]} \quad (2.8)$$

чим $\sigma^2[D_{l+}(G)]$ – дисперсія ступеня на одній стороні довільної ланки в G і $\sigma^2[D_{l+}(G^c)]$ – дисперсія ступеня на одній стороні довільної ланки в G^c . Це впливає з рівняння (23) що $\rho_D(G^c)$ лінійно пов'язаний з $\rho_D(G)$, в результаті спостереження, що крім $\rho_D(G)$, всі терміни та фактори у рівнянні (23) є константами для певного градусного вектора. Це лінійне відношення дозволяє нам вивчити асортиментальність у графі, розглядаючи додатковий графік.

При застосуванні змін до топології комплементарного графіка, при якому на ступінь не впливає вектор ступеня, результуюча зміна асортативності лінійно відноситься до відповідної зміни асортативності вихідного графіка. DPR, застосований на графіку, може бути змодельований відповідною дією в додатковому графіку. Пошук пари ланок у графі, який забезпечує найбільше збільшення або зменшення асортиментальності графа, знаходить пару ланок у додатковому графіку, що забезпечує найбільше зменшення або збільшення відповідно в асортиментальності.

$$\rho_D(G^c) = 1 - \frac{\sum_{i \neq j} (d_j - d_i)^2}{\sum_{i=1}^N (N-1-d_i)^3 - \frac{1}{2L_c} \left(\sum_{i=1}^N (N-1-d_i) \right)^2} \quad (2.9)$$

Існує лінійне відношення між $\rho_D(G)$ і $\rho_D(G^c)$ під час ДНР. Далі в [52] спостерігається, що діапазон асортативності, $\rho_{xv} - \rho_{\max}$ у розрідженій мережі, як правило, більше, ніж у щільних мережах. Це означає, що в розрідженій мережі асортиментальність має більше значення

як характеристика другого порядку (метрика), ніж у щільній мережі. На рисунку 15 показано розподіл (приталені криві) $\rho D(G)$ та розповсюдження $\rho D(G)$ взяті за 10 5 реалізація випадкового графіка ER з $N = 1000$ і $p = 0,1$.

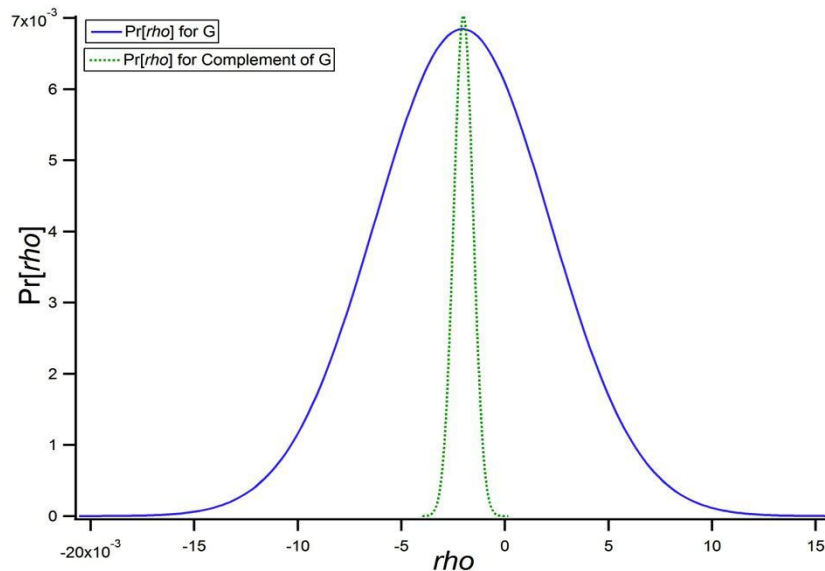


Рисунок 2.3: Розподіл асортиментальності (ρ)

З тих пір $p < 0,5$ граф G_c має більш високу щільність зв'язку, ніж G . Це проявляється в меншому діапазоні асортиментальності для G_c ніж для G . Коли p наближається до $0,5$, G і G_c матиме приблизно рівномірний розподіл асортиментальності. Коли p збільшується вище $0,5$, то G_c буде мати більший діапазон асортиментальності, ніж G .

2.6 Місцева асортиментальність

Піравенан та ін. [39] ввести поняття о Місцева асортиментальність. Локальна асортиментальність надає додатковий вимір аналізу мережі. Я вже виділили асортиментальність як другий порядок мережева метрика, на відміну від ступеня розподілу, будучи а перше замовлення мережевий показник. Дотримуючись цього напряму мислення, локальну асоціативність можна вважати а третій порядок мережева метрика,

оскільки вона забезпечує подальше розмежування у графіках з однаковим ступенем розподілу та однаковою асортативністю.

Розглядаючи мережу з певним ступенем розподілу та певною асортативністю, слід зазначити, що окремі вузли в цій мережі по-різному сприяють асортативності цієї мережі в цілому. Асортативна мережа може містити вузли, які позитивно сприяють загальній асортативності мережі, а також вузли, які негативно сприяють загальній асортативності мережі. Оскільки мережа в цілому є асоціативною, її фактично більше позитивний внесок у асоціативність мережі, ніж негативний внесок у асоціативність мережі.

Локальна асортативність визначається таким чином, що кожен вузол у мережі має власне значення асортативності, яке залежить від локальних властивостей вузла. А саме, ступінь i ступінь сусідів. Місцева асортиментальність ρ_i вузла i визначається як [39]:

$$\rho_i = \frac{(j+1)(\bar{j}k - \mu_q^2)}{2L\sigma_q^2} \quad (2.10)$$

L – кількість посилань у мережі Eq. (25)

задовольняє вимогу:

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i \quad (2.11)$$

На рисунку 2.4 показано середнє значення локальної асортативності як функції від ступеня вузла, наприклад, мереж з різними ρ D.

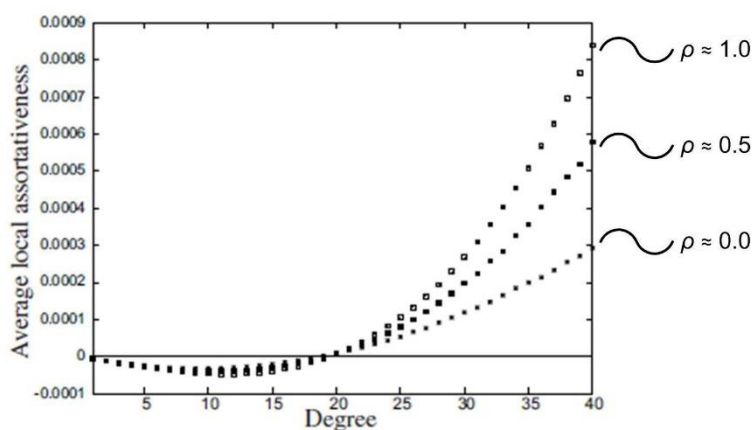


Рисунок 2.4: Середня локальна асортиментальність як функція ступеня вузла

Рисунок 2.4 відображає для вузлів з однаковим ступенем середню локальну асортиментальність. Я помічаю, що для асортиментальної мережі вузли високого ступеня сприяють значно більшій мірі щодо асортиментальності мережі, ніж вузли низького ступеня. Крім того, до певного значення ступеня, вузли мають а негативний внесок у асоціативність мережі. Я називаю цю ступінь “ критичний ступінь, k_c ”.

Місцева асортиментальність, як визначено в [39], також дуже зручна для перерахунку асортиментальності при застосуванні DPR. Є чотири вузли та два ланки, які беруть участь у дії ДНР (рис. 13). Це впливає з рівняння (25), що локальна асортиментальність для цих чотирьох вузлів впливає, але не впливає на інші вузли мережі. Зміна локальної асортиментальності чотирьох вузлів, що беруть участь у перемотуванні, можна обчислити (шляхом обчислення нового k для цих чотирьох вузлів) і з цим нова асортиментальність. Я коротко описую скалярну асортиментальність. Скалярна асортиментальність, L , є узагальненням асортиментальності Ньюмена; він вимірює тенденцію підключення вузлів до інших вузлів, що мають однакове або мають протилежне (скалярне) значення (Ньюмен [33]). “Значення” вузла може бути булевим або (безперервним) скалярним значенням, звідси і термін “скалярна асортиментальність”.

Скалярне значення вузла може змінюватися з часом; вузли в мережі можуть зазнавати змін, накладених довільним стимулом або впливом.

Зміна скалярного значення вузла, отже, впливає на скалярну асортативність мережі. Скалярна асортиментальність мережі може бути виражена як функція часу, $L(t)$. Скалярне значення асортиментальності $L(t) = 1$ означає, що на час t , всі послання в мережі мають однаковий стан вузла з обох боків послання. Для мережі з $L(t) = -1$, усі Час послань у мережі ϵt , вузли з різним станом вузлів по обидва боки ланки. Як і очікувалося, $L(t) = 0$ означає, що на час t , вузли з певним станом однаковою мірою пов'язані з вузлами з тим же станом, що і підключені до вузлів з різними станами. Скалярна асортативність є корисною мережевою метрикою при вивченні динамічних мереж, завдяки якій стан (скалярне значення) вузла з часом змінюється. Піравенан та ін. [38] ввести поняття узгодженості вузла, L . Конгруентність вузла визначається як внесок конкретного вузла в скалярну асортиментальність мережі. Я можемо вважати збіжність вузла як локальна скалярна асортативність.

Сума узгодженості вузла для всіх вузлів у мережі дорівнює скалярній асортативності цієї мережі. Враховуючи, що скалярне значення вузлів у мережі може змінюватися з часом, збіжність вузлів також змінюватиметься з часом. Під час t , узгодженість вузла позначається як $L(t)$. Сукупність вузла і являє масштабовану різницю між середнім станом (або скалярним значенням) сусідів вузла i і середній стан (або скалярне значення) мережі в цілому. Коли сусіди вузла i мають у середньому більше скалярне значення, ніж очікуване значення для всієї мережі, то вузол i має позитивну конгруентність. Негативна конгруентність для вузла i виникає, коли сусіди вузла i мають у середньому нижчу скалярну величину, ніж очікуване значення для всієї мережі. Піравенан та ін.[38] продовжують показувати, що розподіл узгодженості вузла для мережі надає додатковий інструмент для вивчення динамічної поведінки мережі. Сюй та ін. [57] також зауважили, що всередині мережі на загальну асортиментальність цієї мережі може (сильно) впливати невелика кількість високопов'язаних вузлів, які зазвичай називають багаті вузли або суперріч вузлів, в міру

необхідності. Вузли з низьким ступенем можуть демонструвати інший рисунок змішування, ніж вузли з високим ступенем в тій же мережі.

Для мереж з розподілом ступеня енергозахисту вузли надбагачення визначаються як вузли, ступінь яких перевищує ступінь відсічення k_c [57]. Для мережі, що не має масштабів і містить один або більше вузлів $k \gg k_c$, ці (супер) багаті вузли, мабуть, не є результатом процесу зростання цієї мережі. Натомість вони можуть бути штучно додані. Отже, (невелика) кількість надбагатих вузлів може дати помилкове загальне значення асортиментальності для мережі в цілому. Сюй та ін. [57] пропонують модифікований метод обчислення асортативності, а саме шляхом виключення вузлів суперріч. Це модифіковане визначення асортативності позначається як ρ_c . Сюй та ін. [57] констатують, що ρ_c сявляє собою більш реалістичний дескриптор мережі, ніж ρ_D .

Щоб визначити, з якого ступеня (супер) багаті вузли в мережі починають спотворювати асортиментальність, ρ_c слід розраховувати понад $n = \sum_{i=1}^{i=N} 1_{|k_{i,p}|}$ вузлів, ρ_c від k_c до $N-1$. Асортативність потім відображається у вигляді графіка, функція ρ_c . Як ρ_c стає більше, починаючи з k_c , на асортативність все більше і більше впливають наддухові вузли. Обґрунтуванням цього підходу є те, що ні кожен вузол $k \geq k_c$ обов'язково є надбагатим вузлом. Вузол зі ступенем трохи вище k_c це може бути природним результатом процесу зростання, тому його слід враховувати. Кінцевою формою локальної асортативності, яку я вивчаю, є універсальний коефіцієнт асортативності (UAC), визначений Чжаном та ін. [62]. UAC призначає значення внеску для асортиментальності для однієї ланки або групи посилянь. Значення внеску для асортиментальності для однієї ланки формується залежністю між надмірним ступенем вузлів на кінцевих точках зв'язку та очікуваним ступенем перевищення мережі в цілому. UAC для посиляння l , ρ_l ,

$$\rho_l = \frac{(j - U_q)(k - U_q)}{L\sigma_q^2} \quad (2.12)$$

де j, k – перевищення ступеня відповідних вузлів в кінці зв'язку l , $U_q = E[D-1]$, очікуване значення перевищення ступеня всієї мережі, σ_q – стандартне відхилення розподілу надмірного ступеня по всій мережі, L – кількість посилань у мережі.

Утримується наступне співвідношення:

$$\rho = \sum_{l=1}^L \rho_l \quad (2.13)$$

Аналогічно загальному визначенню асортативності, коли $\rho L > 0$, кажуть, що посилання є асортиментальним, коли $\rho L < 0$, посилання, як кажуть, дезасортативно і коли $\rho L = 0$, посилання, як кажуть, неасортативне. Відповідно до рівняння (27), посилання є асоціативною, коли для обох кінців ланки ступінь перевищення є вищою або нижчою, ніж очікуваний надмірний ступінь всієї мережі. В іншому випадку посилання буде недиссорбційним, якщо тільки для обох кінців посилання ступінь перевищення не дорівнює очікуваному ступеню надлишку всієї мережі.

Абсолютна величина $|\rho L|$ є асортиментом (для $\rho L > 0$) або дезасортативно (для $\rho L < 0$) міцність ланки. Екв (27) може використовуватися на групі посилань; УАС для групи посилань – це сума індивідуума ρL . Чжан та ін. [62] стверджують, що їх визначення локальної асортативності є вигідним порівняно з визначенням Піравенана та ін. [39]. Їх головний аргумент полягає в тому, що їх визначення стосується посилань, тоді як визначення формує Піравенан та ін. [39] відноситься до вузлів. Локальна асортиментальність ланки може бути застосована до довільного набору посилань, наприклад, до посилань одного вузла.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Ступінь асортиментальності незважених, непрямих графіків

Мережі можуть бути класифіковані за ступенем їх розподілу. При випадковому виборі вузла мережі вірогідність того, що цей вузол має ступінь k визначається функцією густини ймовірності ступеня (PDF), $P(D = k) = \Pr [D = k]$ цієї мережі. На рисунку 3.1 показаний ряд прикладів ступеня PDF для різних класів графіків.

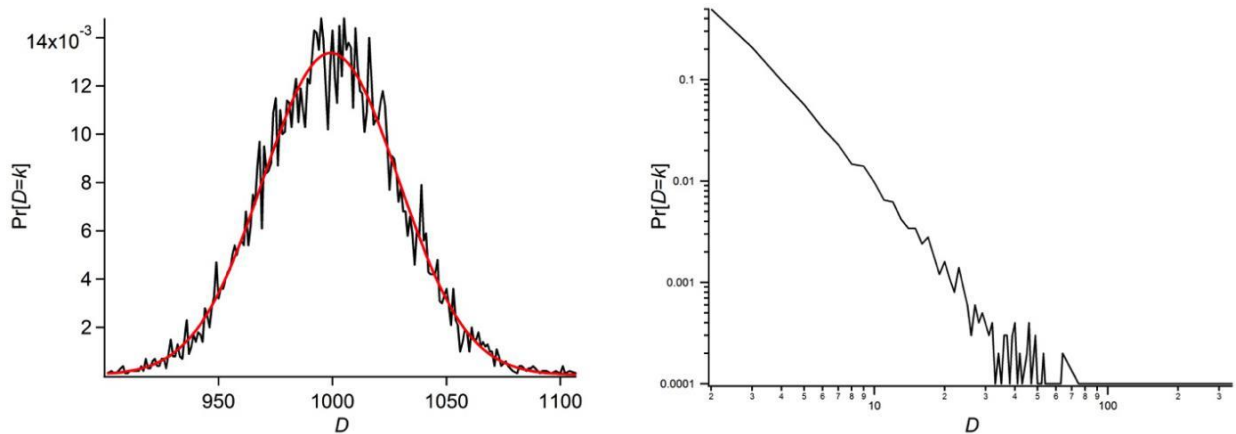


Рисунок 3.1: Приклади функції щільності ймовірності градусів

Коли я розглядаю один вузол у графі, ймовірність того, що той вузол має певний ступінь, впливає із розподілу ступеня цього графіка. Особливий вузол i зі ступенем $G_i = k$ підключено до k інших вузлів. Кожен із них j має свій ступінь, $G_j | i \sim j = L$. При взятті середнього ступеня може бути кілька вузлів із певним ступенем k , я порівнюю це співвідношення для всіх вузлів із певним k . Візуалізуючи це відношення, виявляється ступінь кореляції в графі. Зокрема, це виявляє, що для певних класів графіків середній ступінь вузлів, прилеглих до i є залежним або незалежним від ступеня i . Це показано на рисунку 2 для графіку ER з $N = 10\,000$ і $p = 0,1$

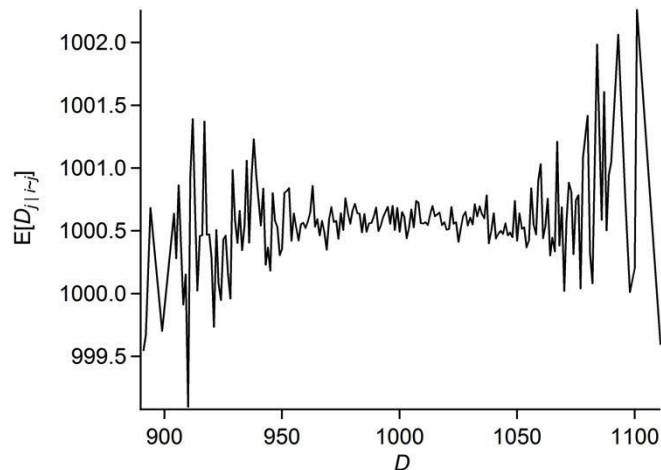


Рисунок 3.2 – Ступінь співвідношення ступеня для графіку ER, $N = 10\,000$, $p = 0,1$ і $E[D] = (N-1) \cdot p \approx 1000$

У цьому прикладі середній ступінь вузлів j прилеглий до вузла i стабільний близько 1000, для різних k . Я можемо врахувати (принаймні) такі розподіли ступенів для графа: (1) ступінь розподілу, $\Pr [D = k]$, визначення ймовірності випадково вибраного вузла мати ступінь k ; (2) комбінований ступінь розподіл, $\Pr [D_1 = j, D_2 = k] = \Pr [D_1 = j | D_2 = k] \cdot \Pr [D_2 = k] = \Pr [D_2 = k | D_1 = j] \cdot \Pr [D_1 = j]$, визначення ймовірності випадково вибраної пари вузлів, які не повинні бути з'єднані один з одним, мати ступені j і k відповідно; припускаючи, що вибір вузла 2 стохастично не залежить від вибору вузла 1, комбінований розподіл ступенів може бути записаний як $\Pr [D_1 = j, D_2 = k] = \Pr [D_1 = j] \cdot \Pr [D_2 = k]$. (3) спільний розподіл ступеня, $\Pr [D_{1-} = j, D_{1+} = k]$, визначення ймовірності випадково вибраного посилання L до мають ступінь j на одному кінці посилання (позначається L_-) і мати ступінь k на іншому кінці посилання (позначається L_+). Це співвідношення являє собою асортативність (ступінь кореляції). Я спостерігаю наступне. – неасортійна мережа. Розподіл ступеня вузлів j підключений до випадково вибраного вузла i слід за тим же розподілом, що і ступінь розподілу мережі в цілому;

– асортиментальна мережа. Для випадково вибраного вузла j , спостерігається концентрація високої (ER) суглобової ймовірності для підключених вузлів j що мають однакові або подібні ступінь як j ;

– дезасорбційна мережа. Для випадково вибраного вузла j , спостерігається концентрація високої (ER) суглобової ймовірності для підключених вузлів j маючи ступінь відрізняється від ступінь i .

Оскільки ступінь розподілу мережі вважається метрикою першого порядку для характеристики мережі, асортиментальність вважається показником другого порядку. Релевантність асортативності сильно пов'язана з діапазоном асортативності, $\rho_{\max} - \rho_{\min}$, для цієї мережі, зберігаючи розподіл ступеня цієї мережі не впливаючи. Мережа може бути перетворена за допомогою з'єднання каналів зв'язку, внаслідок чого розподіл ступенів не змінюється (ступінь збереження ступеня проводки, DPR). При ДНР ступінь уражених вузлів не впливає. При застосуванні DPR у щільній мережі асортиментальність цієї мережі буде різнитися між $\rho_{\min} - \rho_{\max}$. Чим ρ_{\min} і ρ_{\max} буде специфічним для цієї мережі з таким розподілом ступеня. Асортимент $\rho_{\min} - \rho_{\max}$ для розрідженої мережі виявляється більше, ніж діапазон $\rho_{\min} - \rho_{\max}$ для щільної мережі. Великий асортимент $\rho_{\min} - \rho_{\max}$ передбачає більшу актуальність асортиментальності як метрики другого порядку для мережі порівняно з невеликим діапазоном $\rho_{\min} - \rho_{\max}$.

Зараз я вивчимо асоціативність різних класів мереж. Чотири класи графіків, що розглядаються, це: (a) випадковий графік Ердоса–Ренія, (b) випадковий графік безмасштабного графіка Барабасі–Альберта, (c) випадковий графік малого світового випадкового масштабу Ваттс–Строгаца та

(d) випадкова модель зростання Callaway .

3.2 Ердос–Реній Випадковий графік

Я очікую ступінь асортиментальності $\rho \approx 0$ для класу Erdős–Rényi (ER) випадкового графа. Причина полягає в тому, що наявність зв'язку між двома вузлами не залежить від наявності зв'язків між цими вузлами та іншими вузлами. Не існує залежності між ступенем вузла та ймовірністю наявності зв'язку між цим вузлом та іншим вузлом певного ступеня.

У таблиці 2 представлена асортиментальність для класу ER графіків з різними (ймовірність зв'язку). Я варіуюсь p від порогової щільності ланки p_c до 0,5. Для кожного графіку ER $G(p, N)$, асортиментальність була розрахована, використовуючи рівняння (15), для 10000 випадків цього

Таблиця 2: Асортативність для випадкового графіка, $N = 1000$, варіюється p

p	<i>Assortativity</i>		
	r_{min}	r_{max}	$r_{average}$
0.0009210 ($=p_c$)	-0.163	0.181	-0.005
0.009210 ($=10p_c$)	-0.052	0.047	-0.002
0.09210 ($=100p_c$)	-0.018	0.015	-0.002
0.1	-0.018	0.013	-0.002
0.2	-0.013	0.008	-0.002
0.5	-0.007	0.003	-0.002

На рисунку 3.3 показана функція щільності ймовірності (включаючи підгонку кривої), розподіленої на 250 бункерів, асортиментальності для деяких моделей графіків.

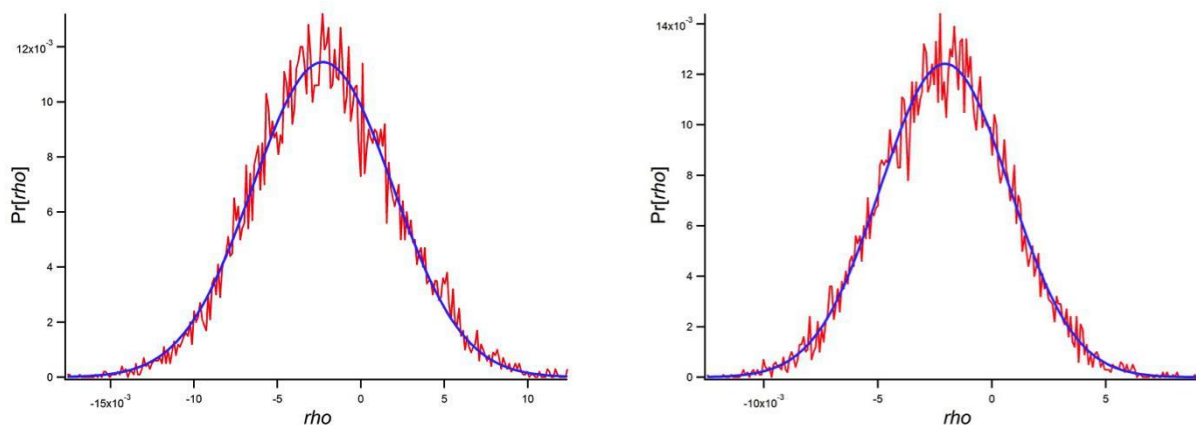


Рисунок 3.3 – Функція щільності ймовірності асортиментальності (ρ) для випадкового графіка ER

На рисунку видно, що асортиментальність для мережі ER розподіляється приблизно 0. Отже, $E[\rho] = 0$. Для більш високого значення ρ , то ρ поширюється на менший діапазон.

3.3. Випадковий графік безбалочного графіка Барабасі–Альберта

Я розглядаю модель зростання, визначену Барабасі та Альбертом (BA) [2]. Для діаграми BA побудована мережа з невеликого (напр $N_0 = 3$) повна мережа. Вузли в початковому графіку, а також вузли, які були додані в попередній частині процесу зростання, мають більш високу очікувану ступінь. У процесі росту ці вузли мають більшу потяг для нових вузлів, які потрібно додати, через більш високий ступінь цих вузлів. Отже, ступінь цих вузлів, як правило, збільшується більше, ніж ступінь вузлів, які були додані пізніше в процесі росту.

Інакше кажучи, коли один вузол через вибір довільних вузлів моделі зростання вищий ступінь, ніж інші вузли в мережі, цей вузол, як правило, продовжує залучати більше нових з'єднань, ніж інші вузли. Інтуїтивно зрозуміла думка [32] може полягати в тому, що графіки БА демонструватимуть дезасортативність. Причина полягає в тому, що

кожного разу, коли додається нове посилання, посилання розміщується між щойно доданим вузлом n , який має ступінь $0 \leq G_n < m$ (m кількість посилань, що додаються для кожного щойно доданого вузла) безпосередньо перед вкладенням, що за визначенням є низьким ступенем, та існуючий вузол, який, ймовірно, вузол з відносно високим ступенем, що є результатом переважного вкладення. Розміщення зв'язку між вузлом низького ступеня і вузлом високого ступеня, як очікується, зробить графік у цілому більш дезасорбційним. У таблиці 3 наведено діапазон асортиментальності для різних графіків БА. Мережа побудована до $N = 1000$, починаючи з повного графа з $3 \leq N_0 \leq 10$ і $2 \leq m \leq 5$. Асортативність обчислюється для 10000 екземплярів кожного визначення графіка.

Таблиця 3: Асортативність для графіка БА, $N = 1000$

<i>Graph definition</i>		<i>Assortativity</i>		
N_0	m	r_{min}	r_{max}	$r_{average}$
3	2	-0.147	-0.038	-0.092
4	2	-0.158	-0.038	-0.089
5	2	-0.135	-0.038	-0.084
10	2	-0.116	-0.006	-0.064
10	3	-0.093	-0.018	-0.055
10	5	-0.078	-0.008	-0.046

На рисунку 4 показана функція щільності ймовірності (включаючи підгонку кривої), розподіленої на 250 бункерів, асортиментальності для різних моделей графіків.

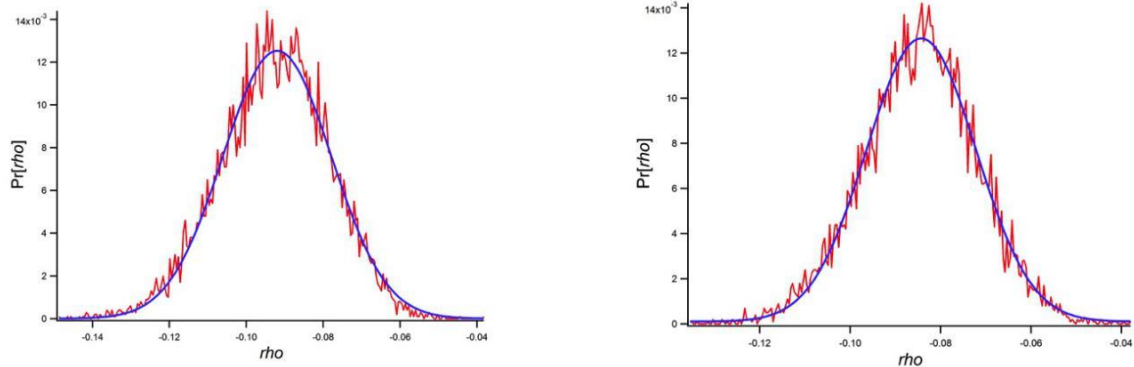


Рисунок 3.4 – Функція щільності ймовірності асортиментальності (ρ) для графіків БА

На рисунках 4 та таблиці 3 видно, що в цілому модельована мережа БА є дезасорбційною, ρ D розподілено приблизно $-0,10$ та $-0,08$ відповідно. Експерименти показують, що для великих N , ρ D для графіка ВА буде ≈ 0 . Це також математично показано Ніколоски та ін. [71], що процес генерації графіків ВА, асимптотично для великих N , не створює кореляції ступеня. 4.3 Ватт–Строгац – невеликий світовий випадковий графік

Графік невеликих слів Watts & Strogatz [54] отримують шляхом застосування n кроки випадкової проводки на всіх ланках кільця–решітки.

Однак принцип побудови графіка малого світу може бути застосований і до інших регулярних класів графів, таких як квадратні решітки, як, наприклад, досліджений Маковецем [28], кубічна решітка або сферична решітка. Графік WS, отриманий з квадратної решітки, може не імітувати а малий світ (тому я можемо не хотіти називати це “графіком WS”). Графік WS може також генеруватися через додавання випадкового посилення, на відміну від випадкове з'єднання з'єднань. Це пропонує Дороговцев [10]. При побудові графіка WS з решітки кільця використовуються такі параметри:

N Розмір решітки

G Ступінь кожного вузла; це буде рівною цінністю; кожен вузол

підключений до $(D / 2)$ сусідні сусіди з обох боків

н Кількість циклів перемотування; у кожному циклі проводки відвідуються всі послання на графіку і випадково перев'язуються з вірогідністю p

р г Вірогідність того, що послання буде передвоєне, якщо воно ще не пройшло, протягом одного циклу перемотування на рисунку 5

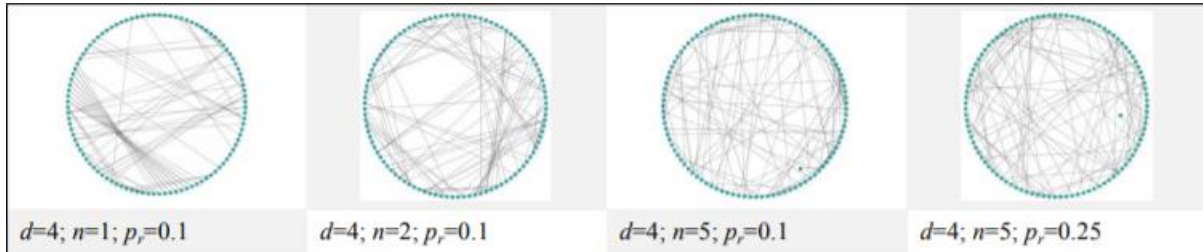


Рисунок 3.5 – Ревісні кільцеві решітки (модель WS-графіка)

На рисунку 3.6 показано розподіл асортиментальності (включаючи підгонку кривої) для двох моделей графіків WS, показаних на рисунку 5, з різницею, що N встановлюється на 1000.

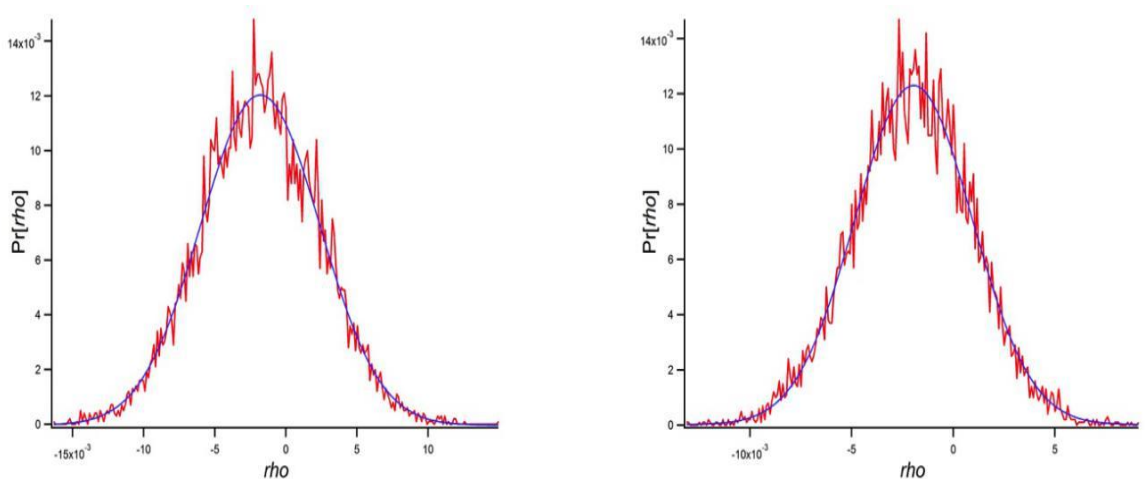


Рисунок 3.6 – Функція густини ймовірності асортиментальності (ρ) для кабелів з реберними кільцями

Розподіл асортиментальності отримують шляхом генерації кожної моделі графа в 10000 разів з однаковими характерними параметрами ($N, d, p, c \in G$). Для довідки, асортиментальність для бездротової кільцевої решітки становить 1,0, оскільки всі вузли мають однаковий ступінь.

Рис.6 ілюструє, що ітераційний процес перемотування робить мережу дезаргонаторною. Цього можна очікувати, оскільки кожен етап перемотування «розриває» ланцюг вузлів, однаково з'єднаних із визначеною кількістю їх відповідних сусідніх вузлів. Етапи перезарядки, очевидно, порушують це. Зі збільшенням кількості кроків повторного з'єднання мережа стає випадковою і так $p \in D$ підходи тепер я вивчимо асоціативність моделі графіка WS при застосуванні перемотування на квадратну решітку. Усі вузли, які не є кутовим або крайовим вузлом, мають $d = 4$. Можливо, що квадратну решітку можна також придумати з більшою d , напр $d = 8$, згідно з яким також включаються діагональні з'єднання. На рисунку 7 показані моделі WS-графіків, отримані з цієї квадратної решітки ($N = 64, d = 4$), для постійних p, r ($p, r = 0,1$) та різні n .

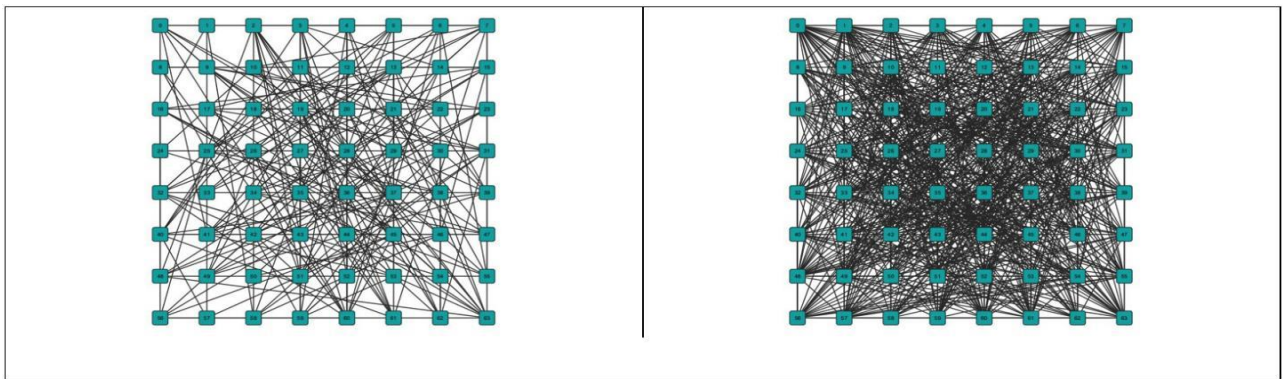


Рисунок 3.7 – Моделі графіка WS з квадратної решітки

На рисунку 8 показано розподіл асортиментальності (включаючи підгонку кривої), розподілене на 250 бункерів, пов'язане з моделями графіків WS, як показано на рисунку 7, з $N = 1024$. Тест повторюють 10000 разів.

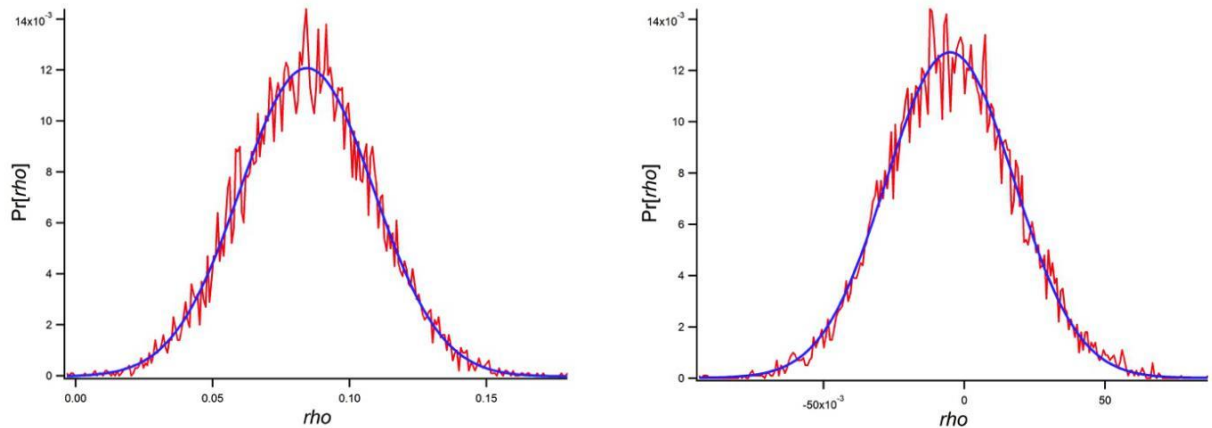


Рисунок 3.8 – Розподіл асортиментальності (ρ) для моделей графіків WS від квадратної решітки

Асортиментальність квадратної решітки менше 1,0, оскільки не всі вузли мають однаковий ступінь (вузли на межі графіка мають нижчий ступінь). Для збільшення N , асортиментальність бездротової квадратної решітки наближається до 1,0, оскільки вплив нижнього ступеня вузлів на межі графіка зменшується. У міру того, як проводиться більше циклів перемотування, асортиментальність зменшується, як і очікувалося. Перемотування вводить випадковість, тому асортиментальність (зрештою) наблизиться до 0.

Наступним варіантом традиційної моделі WS є наступний. Ітеративно, існуюче посилення від вузла $i \in \{1, \dots, N\}$ перекочується з вірогідністю p або додано нове посилення до вузла i з вірогідністю p . Коли існуюче посилення повторно з'єднується або додається нове посилення замість вибору цільового вузла випадковим чином над усіма іншими вузлами, а пільгова провідка / пільгове кріплення застосовується. Перемотування / вкладення виконується шляхом випадкового вибору вузла, а потім застосування додаткової ймовірності, пропорційної ступеню цього вузла. Обґрунтуванням цієї моделі є те, що звичайна решітка являє собою «нав'язану мережеву структуру», таку як (створена) закрыта спільнота.

У структурі громади, починаючи з звичайної структури, починає відбуватися пільгове приєднання. Зі збільшенням кількості доповнень перемикань або зв'язків графіка, як очікується, наблизиться до моделі Барабасі–Альберта з розподілом ступеня закону про потужність.

3.5 Модель випадкового зростання Callaway

Модель Callaway [3] входить до класу «моделей зростання». Для кожного щойно доданого вузла посилення додається з вірогідністю δ , між двома випадковим чином обраними вузлами (вибраними рівномірно з усіх вузлів, включаючи щойно доданий вузол), за умови, що між двома вибраними вузлами ще не існує зв'язку.

Модель Callaway відрізняється від моделі ER тим, що вузли, які додаються пізніше, мають менший шанс бути вибраними один раз або кілька разів для створення зв'язку з цього вузла, до іншого вузла. Отже, ці вузли в середньому матимуть нижчий ступінь. Модель росту Callaway також відрізняється від моделі зростання BA, оскільки для моделі росту BA завжди створюються нові зв'язки між щойно доданим вузлом та існуючим вузлом. Однак модель росту Callaway може створити мережу з ізольованими вузлами.

Подальша різниця між моделлю росту Callaway та моделлю зростання BA полягає в тому, що для моделі Callaway, ступінь вузлів не впливає на їх вірогідність залучення більшої кількості ланок. Значить, немає уподобання у додатку. Обґрунтування моделі росту Callaway при порівнянні з моделлю Ердоса–Рені полягає в тому, що ступінь вузла стає функцією віку цього вузла. Callaway та ін. [3] зауважте, що їхня модель росту мережі виявляє виразну ступінчасту кореляцію, як функцію ступеня вузла. В [3] показано, що існує позитивний коефіцієнт кореляції для з'єднання вузлів з іншими вузлами аналогічного ступеня. Це чітко відрізняється від випадкового графіка ER, за яким ступінь кореляції

становить, в середньому, 0.

Позитивна ступінчаста кореляція є в графах Callaway, особливо для вузлів вищого ступеня, а не для вузлів нижчого ступеня. Вузли високого ступеня, як правило, підключаються до інших вузлів високого ступеня. Для вузлів нижчого ступеня ступінь з'єднаних вузлів більш рівномірно розподіляється між вузлами низького (e_l) ступеня та високими (e_h) ступенями. Callaway та ін. [3] визначили таку формулу співвідношення ступенів

$$\rho = \frac{\sum_{i \sim j (d_i=q, d_j=r)} [q - (1 + 4\delta)][r - (1 + 4\delta)] e_{qr}}{4\delta(1 + 2\delta)} \quad (3.1)$$

Ясно, що рівняння (3.1) для ρ є рекурсивним; ρ тому доведеться розраховувати під час процесу зростання графіка. Відповідно до рівняння (3.1), значення δ становить від 0,0 до 1,0. Експеримент та розрахунок показують, див. Рисунок 3.9, що ρ буде варіюватися від 0,0 до 0,4.

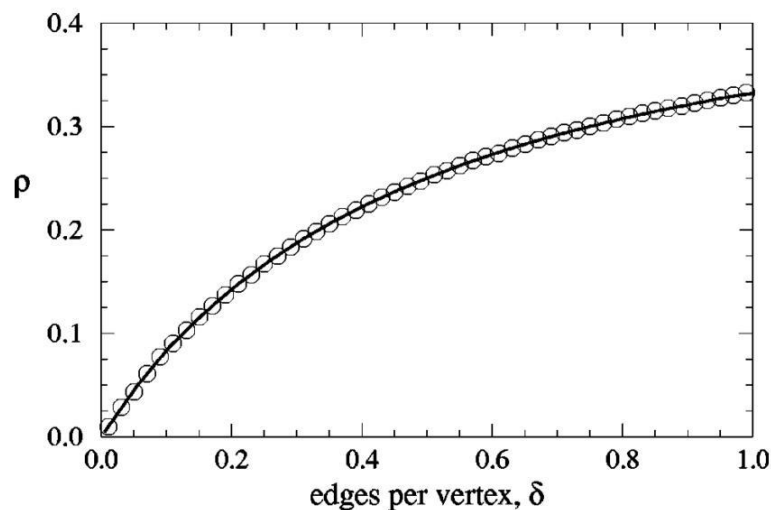


Рисунок 3.9 – Ступінь кореляції, ρ , як функція щільності зв'язку, δ

Ньюмен [32] зручно перетворив рівняння (12) в:

$$\rho = \frac{\delta}{(1+2\delta)} \quad (3.2)$$

3.6 Асортативність конкретних класів графіка

У цьому розділі я обчислюю асортиментальність обраних графічних класів. З цією метою я використовую переформулювання асортативності Ван Мігема та ін. [49]:

$$\rho = \frac{N_1 N_3 - N_2^2}{N_1 \sum_{i=1}^N d_i^3 - N_2^2} \quad (3.3)$$

де $N_k = \sum_{i=1}^N d_i^k$ дорівнює загальній кількості прогулянок к хміль. Таким чином $N_0 = N$, $N_1 = 2L$, $N_2 = \sum (G_i)^2 = \sum G_i^2$

$N_3 = \sum G_i^3 = \sum d_i^3$ (Ван Мігем [50]). Екв (14) далі перетворюється на (Ван Мігем та ін. [49]):

$$\rho_D(G) = 1 - \frac{\sum_{i < j} (d_i - d_j)^2}{\sum_{i=1}^N d_i^3 - \frac{1}{2L} (\sum_{i=1}^N d_i^2)^2} \quad (3.4)$$

де G_i являє собою ступінь вузла i . Екв (15) для асортиментальності становить а графік теоретичний формула, оскільки вона виражає асортативність з точки зору ступеня вузлів на графіку. Екв (15) можна записати так:

$$\rho_D(G) = 1 - 2 \frac{\sum_{i=1}^N (d_i)^3 - \sum_{i < j} d_i d_j}{\sum_{i=1}^N d_i^3 - \frac{1}{2L} (\sum_{i=1}^N d_i^2)^2} \quad (3.5)$$

Поєднання рівняння (16) з рівнянням (10) результати в:

$$\rho_D(G) = 1 - 2 \frac{\sum_{i=1}^N (d_i)^3 - Lh(G)}{\sum_{i=1}^N d_i^3 - \frac{1}{2L} (\sum_{i=1}^N d_i^2)^2} \quad (3.6)$$

Я робимо висновок з рівняння (17), що існує лінійна залежність між асортиментальністю та ймовірністю графіка.

Графік шляху з $N = 2$ є ідеально асортиментальним, оскільки всі вузли мають однаковий ступінь. Для графіку шляху до $N > 2$, всі вузли мають $G_i = 2$, крім $i = 1$ і $i = N$, які мають $G_i = 1$.

$$\rho_D(G) = -\frac{1}{N-2}. \quad (3.7)$$

Центральний вузол на зірковому графіку с $N > 2$ має $G_i = N-1$, всі інші вузли мають $G_i = 1$. Зоряний графік – це окремий випадок повного двопартійного графіка $K_{m, n}$, а саме $m = 1$ і $n = N-1$. Повний двосторонній графік має $\rho_D = -1$, як буде показано в наступному розділі. Отже, зірковий графік завжди є $\rho_D = -1$.

Розглянемо двовимірну решітку розміром $N \times M$, при цьому кількість посилок дорівнює. На рисунку 10 представлено графічне зображення для асортиментальності решітки з $N = 2 \dots 35$ і $M = 2 \dots 35$.

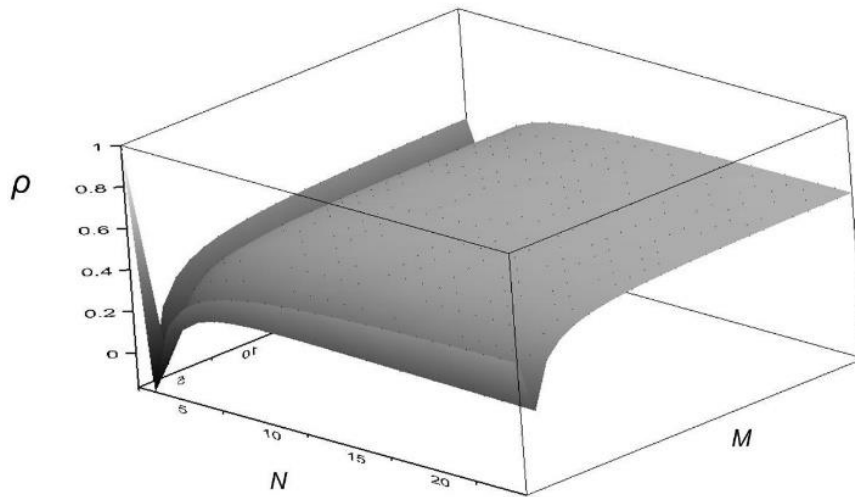


Рисунок 3.10 – Асортативність графа ґрат, $N = 2 \dots 35$ і $M = 2 \dots 35$

Для решітки 2×2 , $\rho_D = 1$, оскільки всі вузли мають ступінь 2.

Для повного двоскладового графіка $K_{m,n}$, з $n \neq m$, я маю досконалу дезасортативність, тобто $\rho_D = -1$. The m вузли в наборі M всі мають ступінь, рівний $|N|$ і n вузли в групі N всі мають ступінь, рівний $|M|$. Оскільки я припускаю $n \neq m$, всі вузли низького ступеня підключені до вузлів високого ступеня, а всі вузли високого ступеня підключені до вузлів низького ступеня. The $\rho_D = -1$ для повного двочастинного графіка також можна показати наступним чином. Термін $\sum_{i,j} (d_i - d_j)^2$ у рівнянні (15) дорівнює $(m^2n^2 - 2mn^2 + n^2m^2)$, оскільки є $n * m$ послань сполучні вузли, які мають ступінь n і m відповідно. Термін $\sum_i d_i^2$ дорівнює $3n^2 + 3m^2 = nm(mn + 2mn^2)$, оскільки кожен вузол у наборі M має ступінь n і кожен вузол у наборі N має ступінь m . Так само і термін $\sum_i d_i$ дорівнює $nm(mn + 2)$, при цьому кількість послань L дорівнює $n * m$. Заповнення цих $i = 1$ до рівняння (15) $\rho_D = -1$.

Я вважаю а k - арі дерево, як показано на рисунку 11. Кожен вузол має рівну кількість гілок, позначених k . Глибину дерева позначають через D .

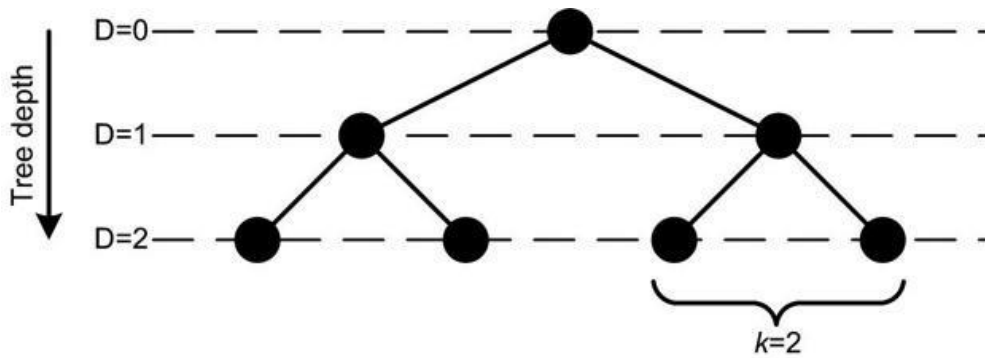


Рисунок 3.11 – Графік дерева с $D = 2$ і $k = 2$

На глибину $D = 1$, я маю ідеальну дезасортативність, $\rho_D = -1$; дерево нагадує графік шляху з $N = 3$. Як глибина D збільшується, дерево стає менш дезасортане. Це показано на рисунку 12.

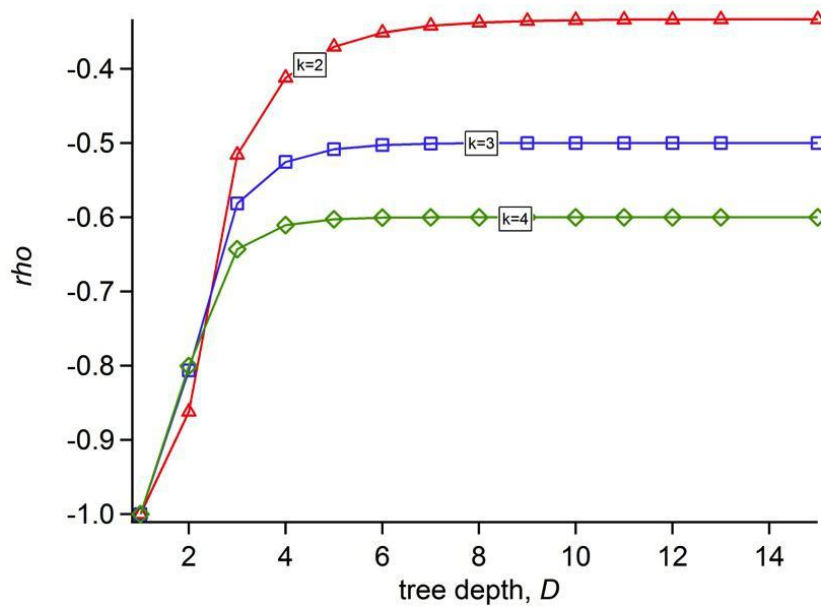


Рисунок 12: Асортативність для графіка дерева с $k = 2$, $k = 3$ і $k = 4$

Для дерев с $k > 2$, підйом ρ_D буде менше, ніж для дерев із $k = 2$. Це пояснюється відносно більшою кількістю кінцевих гілок, для яких кдд. Різниця в ступені для підключених вузлів джив кінці-гілках, робить графік більш дезасортаційним.

ВИСНОВКИ

Поняття асортиментальності було широко вивчене з моменту його введення Ньюменом [32]. Асортативність, будучи показником другого порядку, додає розуміння характеристик мережі. Хоча асортативність як концепція може бути застосована до будь-якої кваліфікації вузла, вона найчастіше застосовується за ступенем вузла, поступаючись ступінь асортативності. З часом були запропоновані різні адаптовані форми асортативності. Асортиментальність для спрямованих мереж та для мереж із зваженими посиленнями потребує подальшого вивчення. Наприклад, соціальні мережі демонструють зв'язки, які є напрямом. Мережі зв'язку містять можливі посилення вага, виражаючи, наприклад, потужність зв'язку або вартість передачі. Мережі можуть бути повторно з'єднані для зміни статичної чи динамічної поведінки цієї мережі, наприклад, для збільшення або зменшення асортиментальності цієї мережі. ДНР широко вивчається як засіб перемотування мережі без зміни ступеня її вектора g . Коли посилення є направленими, DPR повинен розрізняти ступінчасті та вихідні ступені вузлів, що беруть участь у перемотуванні, і підтримувати обидва постійні. Якщо посилення мають велику вагу, перемотування може бути виконано із збереженням ступеня, але тоді вузли, що беруть участь у перемотуванні, закінчуються іншим підключення. Це впливає з того факту, що зв'язки з різною вагою сприяють різному зв'язку вузла.

Сама асортиментальність не завжди є достатньо репрезентативною для мережі в цілому. Мережа в цілому може бути асоціативною, але деякі вузли кваліфікуються як особливо дезасортаційні, або навпаки. Кожен вузол або кожна ланка в цій мережі певною мірою сприяє загальній асортиментальності. Це призводить до локальна асортиментальність (локальна асортативність вузла, асоціативність локальної ланки). Асортативність мережі може бути відображена через функцію густини ймовірності асортиментальності вузла або функцію щільності

асортиментальності зв'язку. Багато аспектів місцевої асортиментації залишаються невивченими.

Співвідношення між лінійними графіками та асортативністю, а також співвідношення між додатковими графами та асортативністю вивчалось у різних працях. Побудова лінійного графіка та побудова додаткового графа зазвичай визначаються для простих графіків, що містять непрямі, невагомні посилання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Семеріков С. О. Мобільне навчання: історія, теорія, методика/ Сергій Семеріков, Ілля Теплицький, Світлана Шокалюк // Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах. –2008. –№ 6. –С. 72–82; 2009. –№ 1. –С. 96–104.
2. Семеріков С. О. Мобільне навчання : історико–технологічний вимір / Семеріков С. О., Стрюк М. І., Моїсеєнко Н. В. // Теорія і практика організації самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів : монографія / кол. авторів; за ред. проф. О.А.Коновала. – Кривий Ріг : Книжкове видавництво Киреєвського, 2012. –С. 188–242.
3. Semerikov S. O. Computer Simulation of Neural Networks Using Spreadsheets: The Dawn of the Age of Camelot [Electronic resource] / Serhiy O. Semerikov, Illia O. Teplytskyi, Yuliia V. Yechkalo, Arnold E. Kiv // Augmented Reality in Education : Proceedings of the 1stInternational Workshop (AREdu 2018). Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018 / Edited by : Arnold E. Kiv, Vladimir N. Soloviev. –P. 122–147. –(CEUR Workshop Proceedings (CEUR–WS.org), Vol. 2257). [Electronic resource]. – URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper14.pdf>.
4. Markova O. M. CoCalc as a Learning Tool for Neural Network Simulation in the Special Course “Foundations of Mathematic Informatics” [Electronic resource] / Oksana Markova, 68Serhiy Semerikov, Maiia Popel // ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer 2018 : Proceedings of the 13th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume II: Workshops (ICTERI, 2018). Kyiv, Ukraine, May 14–17, 2018 / Edited by : Vadim Ermolayev, Mari Carmen Suárez–Figuroa, Vitaliy Yakovyna, Vyacheslav Kharchenko, Vitaliy Kobets, Hennadiy Kravtsov, Vladimir Peschanenko, Yaroslav Prytula, Mykola Nikitchenko, Aleksander Spivakovsky.

–Р. 388–403. –(CEUR Workshop Proceedings (CEUR–WS.org), Vol. 2104). – [Electronic resource]. – URL: http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_204.pdf.

5. Анисимов А.В. Система обработки текстов на естественном языке / А.В.Анисимов, А.А. Марченко // Искусственный интеллект. –2002. –№ 4. –С. 157–163.

6. Анисимов А. В. Компьютерная лингвистика для всех: Мифы. Алгоритмы. Язык / А.В.Анисимов.–К.: Наук. думка,1991. –208 с.

7. Литвиненко О. Є. Інженерно–лінгвістичні принципи аналізу текстів / О.Є.Литвиненко, Д. А. Бурко // Наукоємні технології. –2009. –Том 3, № 3. –С.60–62.–DOI: 10.18372/2310–5461.3.5130

8. Заболеева–Зотова А. В. Латентный семантический анализ: новые решения в Internet / А. В. Заболеева–Зотова, А. Ю. Пастухов, П. В. Сердюков, Н. А. Козлова, С. А. Чернов // Информационные технологии. – 2001. –№ 6. –С. 67–82.

9. Ландэ Д. В. Поиск знаний в Internet / Д. В. Ландэ.–М.: Вильямс, 2005. –272 с.–(Профессиональная работа)

10. Сокірко А. В. Семантичні словарі в автоматичній обробці тексту: По матеріалам системи ДІАЛІНГ. М. 2001. 120 с.

11. Ліонтова Н.Н. Російський загальносемантичний словар (ROSS): структура, наповнення. NTI. Сер. 2. 1997. № 12. С 5–20

12. Єрмаков А.Й. Тезиси доповіді міжнародного конгресу "Російська мова: історична доля та сучасність"

13. Проект "Minerva" [Electronic resource]. – URL: <http://www.inteltec.ru/publish/articles/textan/concept.shtml>

14. Тихомиров І.А. Матеріальна міжнародна конференція "Діалог 2009"

15. Open Cognition – [Electronic resource]. – URL: <http://opencog.org/>

16. Link Grammar Parser. AbiWord, 2014 – [Electronic resource]. – URL: <http://www.abisource.com/projects/link-grammar/>

17. The CMU Link Grammar natural language parser – [Electronic resource]. – URL: <https://github.com/opencog/link-grammar/>
18. ReEx Dependency Relationship Extractor. OpenCog – [Electronic resource]. – URL: <http://wiki.opencog.org/wikihome/index.php/Relex>
19. Сокирко А.В. Семантичні словники в автоматичній обробці тексту (за матеріалами системи ДІАЛІНГ): дис. ... канд. тех. наук. М.: МГПИИЯ, 2001. 120 с.
20. OpenCalais – [Electronic resource]. – URL: <http://www.opencalais.com/opencalais-api/>
21. RCO – [Electronic resource]. – URL: http://www.rco.ru/?page_id=3554
22. Abbyy Compreno – [Electronic resource]. – URL: <https://www.abbyy.com/ru-ru/isearch/compreno/>
23. SemSin– [Electronic resource]. – URL: <http://www.dialog-21.ru/media/1394/kanevsky.pdf>
24. DictaScope – [Electronic resource]. – URL: <http://dictum.ru/>
25. Pullenti – [Electronic resource]. – URL: <http://semantick.ru/>
26. Інструментальне середовище «Декла» – [Електронний ресурс]: – URL: <http://ipiran-logos.com/>
27. Національний корпус російської мови – [Електронний ресурс]: – URL: <http://www.ruscorpora.ru/>
28. Yago – [Electronic resource]. – URL: <http://www.mpi-inf.mpg.de/departments/databases-and-information-systems/research/yago-naga/yago/>
29. DBpedia [Electronic resource]. – URL: <http://wiki.dbpedia.org/>
30. Freebase – [Electronic resource]. – URL: <https://developers.google.com/freebase/>
31. Google's Knowledge Graph [Electronic resource]. – URL: <https://developers.google.com/knowledge-graph/>

32. OpenCyc [Electronic resource]. – URL: <http://www.opencyc.org/>
33. ReadTheWeb [Electronic resource]. – URL: <http://rtw.ml.cmu.edu/rtw/>
34. OpenIE – [Electronic resource]. – URL: <http://nlp.stanford.edu/software/openie.html>
35. Google Knowledge Vault [Electronic resource]. – URL: <https://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Papers/kv-kdd14.pdf>
36. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. // Scientific American. 2001. May. P.28–37.
37. Вишняков В.А., Бородаєнко Ю.В., Бородаєнко Д.С. Моделі і засоби інтеграції додатків, маркетингу, аутсорсингу, обробки знань в комп'ютерних мережах: монографія. Мінськ, 2011 року.
38. Allemang D., Hendler J. Semantic Web for the Working Ontologist: Effective Modeling in RDFS and OWL. USA, 2008.
39. Ньюкомер Е. Веб-сервіси. XML, WSDL, SOAP і UDDI. Для професіоналів. СПб, 2010 року.
40. Вишняков, В.А. // Економіка та управління. 2012. № 4 (32). С. 111–117.
42. WebMining – видобуток знань з WorldWideWeb [Електронний ресурс] // Businessdataanalytics.ru. 2008, грудень. – URL: <http://www.businessdataanalytics.ru/WebMining.html>
43. Kilgarrif A. BNC database and word frequency lists / A. Kilgarrif – 1998 [Electronic resource]. – URL: <http://www.kilgarriff.co.uk/bnc-readme.html>
44. Tokenizer : Opennlp [Electronic resource]. – SourceForgeNet, 2010. – URL: <http://sourceforge.net/apps/mediawiki/opennlp/index.php?title=Tokenizer>
45. BNC part of speech tags [Electronic resource]. – URL: <http://pie.usna.edu/POScodes.html>

46. Яцко, В.А. Симметричное реферирование : теоретические основы и методика [Текст] / В.А. Яцко // Научно–техническая информация. Сер.2., 2002. С. 18–28.

47. Яцко В.А. Алгоритмы предварительной обработки текста: декомпозиция, аннотирование, морфологический анализ [Текст] / В.А. Яцко, М.С. Стариков, Е.В. Ларченко [и др.] // Научно–техническая информация. Сер.2., 2009. – С. 8–18.

48. Марчук Ю.Н. Компьютерная лингвистика М.: Изд–во Восток–Запад, 2007г., – 317 с –[Электронный ресурс]: – URL: <http://www.twirpx.com/file/398578/>

49. Clark A. The Handbook of Computational Linguistics and Natural Language Processing /Clark A., Fox C., Lappin S.// Blackwell Publishing, 2010, – 775p [Electronic resource]. – URL: stp.lingfil.uu.se/~santini/sais/ClarkEtAl2010_HandbookNLP.pdf

50. Волошин В.Г. Комп'ютерна лінгвістика: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2004. –382 с.

51. Mitkov R. The Oxford handbook of computational linguistics /Oxford University Press, 2003 –786 p. [Electronic resource]. – URL: <http://www.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=y16AnaKtVAkC&oi=fnd&pg=PP2&dq=5.%09The+Oxford+handbook+of+computational+linguistics>

52. Nirenburg S. Ontological semantics / Nirenburg S., Raskin V. //MIT Press, 2004, – 420 p – [Electronic resource]. – URL: http://books.google.com.ua/books/about/Ontological_semantics.html?id=OPek3LpMIigC&redir_esc=y

53. Jurafsky D. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Speech Recognition, and Computational Linguistics. 2nd edition, / Jurafsky D., Martin J.// 2009 – [Electronic resource]. – URL: <http://www.cse.iitk.ac.in/users/mohit/Speech-and-Language-Processing.pdf>