

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва кафедри)

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

Валерій ЯВІСЯ

(підпис)

(Ім'я, прізвище)

“4” червня 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття освітнього ступеня “бакалавр”

(назва ОС)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,

(код і назва)

на тему: Алгоритм розміщення базових станцій для крупно масштабних гетерогенних LTE мереж.

Виконав: студент (4 курсу, групи ТЗ-62

Хлівний Дмитро Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доктор технічних наук, професор **Ільченко М.Ю.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант **1-3**

(назва розділу)

професор **Кравчук С.О.**

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праці інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва)

Кафедра телекомунікацій
(повна назва)

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Валерій ЯВІСЯ
(підпис) (ім'я, прізвище)

“ 22 ” січня 2020 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Хлівному Дмитру Юрійовичу

1. **Тема роботи:** Алгоритм розміщення базових станцій для крупно масштабних гетерогенних LTE мереж.

керівник роботи: доктор технічних наук , професор , Ільченко М.Ю.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. №924-с

2. **Термін подання студентом роботи:** 4 червня 2020 року

3. **Вихідні дані до роботи:** персональний комп'ютер , програмне забезпечення Matlab та Excel

4. **Зміст роботи** 1)Провести системний аналіз проблематики наявних еволюційних алгоритмів

2) Запропонувати математичну модель вирішення задачі розміщення елементів безпроводової мережі

3) Розробити оптимальний метод групування для запропонованого еволюційного алгоритму

4) Розробити модель симуляції для впровадження еволюційного алгоритму

5) Провести розрахунковий експеримент на основі створеного програмного рішення

6) Порівняти отримані значення з розрахунковими значення для вже існуючих алгоритмів

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

Слайд 1: Вступ, актуальність та мета, практична цінність роботи

Слайд 2: Основні відомості про гетерогенні мережі LTE

Слайд 3: Основні відомості про еволюційні алгоритми

Слайд 4: Проблематика сучасних еволюційних алгоритмів

Слайд 5: Представлення досліджуваного алгоритму

Слайд 6: Опис особливостей роботи алгоритму

Слайд 7: Порівняння нашого рішення із іншими алгоритмами

Слайд 8: Представлення розрахункових результатів

Слайд 9: Представлення результатів симуляції

Слайд 10: Висновки по роботі, напрямки подальшого вивчення

6. Консультанти розділів роботи^{1*}

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Професор Кравчук С.О.	15.10.2019	15.10.2019
2	Професор Кравчук С.О.	30.01.2020	30.01.2020
3	Професор Кравчук С.О.	15.03.2020	15.03.2020

7. Дата видачі завдання : 15.10.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання, встановлення вказаного програмного забезпечення	15.10.2019-29.10.2019	
2	Аналіз роботи стандарту безпроводового зв'язку LTE	30.10.2019-15.11.2019	
3	Дослідження специфіки використання гетерогенних мереж стандарту LTE	15.11.2019-30.11.2019	
4	Вивчення основних теоретичних базисів використання еволюційних алгоритмів	30.11.2019-20.12.2019	

5	Дослідження результатів практичного використання еволюційних алгоритмів.	20.12.2019-12.01.2020	
6	Розбір проблематики сучасних рішень	12.01.2020-30.01.2020	
7	Створення нового рішення на основі наявних рішень	30.01.2020-25.02.2020	
8	Розробка нового групувального алгоритму	25.02.2020-15.03.2020	
9	Проведення симуляції роботи алгоритмів	15.03.2020-15.05.2020	
10	Аналіз отриманих результатів дослідження роботи алгоритму	15.05.2020-23.05.2020	
11	Оформлення пояснювальної записки дипломної роботи , підготовка до захисту	23.05.2020-04.06.2020	

Студент _____

(підпис)

Хлівний Д.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Ільченко М.Ю
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

на дипломну роботу

Виконану на тему : Алгоритм розміщення базових станцій для крупно масштабних гетерогенних LTE мереж.

Робота виконана на 61 сторінках , містить 17 рисунків , 7 таблиць . При реалізації дипломної роботи використовувалася література з 31 джерел .

В реаліях сучасного суспільства важко залишатися осторонь комунікацій між людьми . Кожного дня ми проводимо години в соцмережах , телефонуємо рідним і тд. Завдяки розвитку безпроводових телекомунікаційних систем ми можемо зв'язатися з людьми з різних куточків світу . Попит на послуги мобільного зв'язку невинно росте , збільшуються вимоги до телекомунікаційних систем . Логічно , що це несе за собою розширення традиційних мереж . Але для операторів мобільного зв'язку це колосальні витрати на розміщення нових базових станцій , в деяких випадках стандартне розгортання макростільників тільки погіршить ситуацію , особливо це питання гостро стоїть при плануванні розміщення стільників в умовах міської забудови. В таких умовах , на малих площах щільно розташовані користувачі, які хочуть отримати хорошу якість обслуговування. Стандартні макростільники не мають такої вмістимості , щоб задовольнити їх потреби. Тому було прийняте рішення модернізувати мережу мікростільниками , що могли б вирішити проблеми саме в їх осередку . Проблема полягає в тому , що кількість стільників різко зростає . І відповідно , їх треба розташувати таким чином , щоб вони максимізували еорисну дію мережі . Це завдання еволюційних алгоритмі , які вже показали свою ефективність в ряді можливих застосувань . Але їх проблема полягає в тому , що сучасні рішення на основі ЕА не є оптимальними , вони витрачають багато часу на опрацювання та показують погані результати при використанні для крупномасштабних мереж . Які не дозволяють підвищити можливий результат . Актуальною є проблема

модернізації наявних рішень , або ж створення абсолютно нового алгоритму, для можливості його використання при розвертанні крупномасштабних мереж.

Тому мета роботи заключається в знаходженні оптимального еволюційного алгоритму для оптимізації процесу розміщення базових станцій стандарту LTE.

Результати цього дослідження можуть бути використані для розміщення нових стільників та для оптимізації вже наявних мереж стандарту LTE . Або ж на основі цих даних можна розробити інше рішення , для великої варіації застосувань еволюційних алгоритмі у світовій практиці.

Ключові слова: еволюційні алгоритми , оптимізація безпроводових мереж , розвертання базових станцій , міжстільникова інтерференція.

ABSTRACT

on bachelor's thesis

on topic: Base Station Placement Algorithm for
Large-Scale LTE Heterogeneous Networks

Student: Khlivnyi Dmytro

Work carried out on 61 pages containing 17 figures, 7 tables. The paper has written with 31 references to different sources.

In modern social reality hard to stay away from communication with people. We spend time in social networks, call to relatives, check weather in internet, that our daily routine. Due to the development of wireless telecommunication systems, we can be in touch with people from different countries. The demand for mobile services is growing rapidly, requirements for telecommunication systems also are increasing. Logically, that mobile operators need to expand the network. But for them the new network developing is too expensive, in some cases usual BS deploying will only worsen the situation, especially when this question stays for planning cells locations in urban area. In such conditions users are densely located in small areas, who wants to take good quality of service. Usual cells don't have such capacity, for meet their needs. Therefore, it was decided to modernize the network using microcells, for solving problems in their center. The problem is that the number of cells will increase sharply in the future. That's we need to locate it properly for maximizing network performance. That's task for evolutionary algorithms, which have already shown their effectiveness in a number of applications. But their problem is that modern EA-based solutions are suboptimal, they take a lot of time to process and show poor results when used for large-scale networks. Which can't increase standard result. The problem of modernization of existing solutions, or creation of new algorithm, for a possibility of its use at deployment of large-scale networks is actual.

Therefore, the purpose of the work is to find the optimal evolutionary algorithm for optimizing the process of LTE base stations deployment.

The results of this study can be used to deploy new cells and to optimize existing LTE networks. Or on the basis of these data it is possible to develop new decision, for the big variation of applications of evolutionary algorithm in world practice.

Key words: evolutionary algorithms, cellular network optimization, new cells deploying, intercell interference.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

EA – evolutionary algorithm, комплекс рішень, який націлений на вдосконалення

BS – base station, системний комплекс приймально-передавальної апаратури, що здійснює централізоване обслуговування групи кінцевих абонентських пристроїв

Overshooting – явище, при якому БС покриває надлишкову територію. В умовах міста воно несе шкідливий характер

LTE - Long Term Evolution, назва мобільного протоколу передавання даних; проєкт 3GPP, стандарт з вдосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості.

IDG-EA - interactions-detections grouping evolutionary algorithm , еволюційний алгоритм , що базується на знаходженні взаємодіючих елементів в мережі , базується на диференційному підході

RG-EA – random grouping evolutionary algorithm, еволюційний алгоритм , що базується на групування випадковим методом шляхом підстановки значення для знаходження взаємодіючих.

Потомки (діти) – базові станції , які генеруються в процесі роботи оператора перехрещення , для так званих “батьків”

Батьки – пара індивідів , яка обирається в процесі роботи оператора перехрещення

CC – cooperative coevolution, термін , що позначає процес розбиття елементів , над якими буде виконуватися робота еволюційного алгоритми , на субкомпоненти , для зменшення часу потрібного на роботу алгоритму.

HetNet (гетерогенна мережа) – це комбінація мереж різних технологій безпроводового доступу та типів стільників в одну взаємодіючу структуру.

Зміст	
Вступ.....	13
Актуальність	14
Частина 1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ	18
1.2 Розбір поняття “еволюційний алгоритм”	20
1.3 Еволюційні алгоритми	22
1.4 Коеволюція та її використання в еволюційних алгоритмах	28
1.5 Сучасні еволюційні алгоритми	30
Висновки до розділу 1	31
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕОРИТИЧНИХ БАЗИСІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО АЛГОРИТМУ	32
2. 1 Проблема оптимізації процесу розвертання БС	32
2. 2 Коеволюція та групування БС	34
2.3 Запропонований еволюційний алгоритм	35
2.3.1 Оцінка кандидатів	35
2.3.2 Селекція батьків	36
2.3.3 Використання оператора перехрещення	36
2.3.4 Мутація	38
2.4 Приналежність до однієї групи	39
Висновок до частини 2	42
ЧАСТИНА 3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	44
3.1 Розрахунок значень для алгоритму	44
3.2 Моделювання роботи алгоритму	47
3.3 Результати симуляції	50

3.4 Покращення значень пропускну́ї здатності	53
Висновки до 3 частини	58
ВИСНОВКИ.....	60

Вступ

На даний час продовжується значне зростання мобільного трафіку, особливо в умовах міст, що змушує операторів розгортати все нові базові станції (безпроводові точки доступу) і підвищувати тим самим, матеріальні затрати на розгортання стандартних макростільників при зростанні інтерференції. Такий підхід є малоефективним та недоцільним в реаліях сучасного структурованого суспільства, яке постійно розвивається та потребує для свого обслуговування інформаційних каналів із підтримкою заданої якості.

Останнім часом розробки щодо оптимального розміщення базових станцій (БС) є певним випробуванням для задачі оптимізації мобільної мережі. Алгоритми, що використовувалися раніше для оптимального розгортання стільників, вже застаріли та не дають можливість максимізувати пропускну здатність в мережі .

Також, головним недоліком більшості робіт, напрацювань та методів, які направлені на рішення проблеми розміщення , є мала швидкість розрахунку в задачах великої розмірності , що в свою чергу створює затримку в проектуванні та впровадженні нових рішень .

Важливими проблемами розміщення БС в умовах міста є велике скупчення на малій площі людей та високоповерхових забудов. Найоптимальнішим рішенням в даній ситуації є доповнення вже існуючих макростільників новими мікростільниками, які будуть розміщуватися локально в місцях великого навантаження (використання трафіку), та матимуть малі потужності передачі для мінімізації проблеми інтерференції в певній локації . Наступним кроком буде повне згортання макростільників та повна їх заміна множиною мікростільників. З даного твердження випливає інша проблема – ефективне групування БС між собою , оскільки даний підхід суттєво збільшує число стільників, то в результаті

незапланованого їх розвертання можуть тільки погіршитись характеристики усієї мережі.

Актуальність

В результаті свого професійного досвіду роботи оптимізатором мережі 3G та 4G, можу сказати що проблема представлена вище наявна в даний час. Дуже часто ефективність мережі залежить від грамотного розташування базових станцій та їх оптимального групування. Хотілося б сконцентрувати увагу саме на вже наявних проблемах перевантаження мережі, та неможливість розширення вмістимості за рахунок розвертання стандартних БС в умовах міста Київ. Також, саме із-за стрімкої високоповерхової забудови з'являється проблема поганого покриття, особливо на верхніх поверхах багатоповерхівок. В цьому варіанті немає можливості вирішити проблему стандартним методом, оскільки "підняття" базової станції призводить до явища overshooting (явище при якому БС випромінює електромагнітні хвилі на великі відстані) яке в свою підвищує інтерференції в умовах щільного планування стільників. В результаті підвищення рівня інтерференції, ми спостерігаємо явище деградації основних параметрів стільників, зменшується пропускна здатність антени, та підвищується ймовірність так званого дропу (відбою), яка суттєво знижує якість мережі, та є неприйнятним в умовах сучасного інформаційного суспільства. Дана тема уже була представлена в низці робіт, на даний момент, але саме в Україні такі праці відсутні, хоч і проблема також наявна і в нас в країні.

Слід відмітити, що велика кількість робіт, які націлені на оптимальне розміщення, направлені на вирішення задачі даного типу на стадії планування мережі, але слід враховувати той факт, що на даний момент в кожного з операторів вже є розгорнута мережа і створення нового планування та його реалізація несуть за собою великі матеріальні затрати, яких можна уникнути. Тому на даний час більш актуальна проблема оптимізація вже існуючої інфраструктури безпроводових мереж та систем.

Тому для вирішення сучасних проблем оптимізації розташування БС є актуальною задачею розробка нового підходу, який розширить спектр можливостей операторів, дозволить мінімізувати інтерференцію і при цьому реалізувати максимально можливе значення пропускної здатності. Та дозволяє оптимально використати ресурси на розвертання БС із реально видимим результатом.

Об'єкт дослідження

- Бездротові мережі зв'язку стандарту LTE

Предмети дослідження

- Алгоритми розміщення базових станцій
- Оптимізація мереж стандарту LTE
- Групувальні алгоритми базових станцій
- Еволюційні алгоритми БС
- Оптимальна утилізація стільників
- Мінімізація міжстільникової інтерференції

Мета дослідження: Мета роботи заключається в знаходженні оптимального еволюційного алгоритму для максимізації пропускної здатності на користувача.

Цілі роботи:

1. Удосконалення наявних еволюційних алгоритмів
2. Вирішення проблеми крупно масштабності
3. Зменшення витрат часу на роботу алгоритмів
4. Доведення ефективності запропонованого рішення
5. Максимізація можливої пропускної здатності

Для досягнення поставлених цілей в дипломній роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести системний аналіз проблематики наявних еволюційних алгоритмів
- Запропонувати математичну модель вирішення задачі розміщення елементів безпроводової мережі
- Розробити оптимальний метод групування для запропонованого еволюційного алгоритму
- Розробити модель симуляції для впровадження еволюційного алгоритму
- Провести розрахунковий експеримент на основі створеного програмного рішення
- Порівняти отримані значення з розрахунковими значення для вже існуючих алгоритмів

Розкривши основні засади цієї роботи, ми можемо розробити детальний план роботи над дипломним проектом, для наочності, я розбив документ на 3 частину. В першій частині освітлюються рішення, які використовуються на даний момент, процес їхнього вдосконалення, та основні їх недоліки. Друга частина представляє теоретичні засади запропонованого рішення. А частина номер три, показує результати роботи алгоритм, його переваги над наявними рішенням.

Відповідно, отримавши сеперативну модель роботи, можна створити дискретизований план

Частина 1

1.1 Розкриття теоретичних основ гетерогенних мереж

1.2 Опис еволюційних алгоритмів

1.3 Аналіз процесу модернізації алгоритмів під час їх історичного розвитку

1.4 Дослідження основ роботи сучасних еволюційних алгоритмів

1.5 Знаходження основних недоліків сучасних застосувань

1.6 Створення засад нового алгоритму, покладаючись на недоліки минулих реалізацій

Частина 2

- 2.1 Розкриття головної проблеми оптимізації процесу розвертання базових станцій
- 2.2 Створення нового алгоритму коеволюції та групування для запропонованого алгоритму
- 2.3 Представлення основних засад запропонованого алгоритму , модернізація механізму роботи оператора перехресчування
- 2.4 Розбір математичного формулювання приналежності двох БС до однієї групи , для запропонованого алгоритму

Частина 3

- 3.1 Розрахунок характеристик алгоритму , покладаючись на теоретичні основи
- 3.2 Освітлення результатів роботи алгоритму в результаті симуляції
- 3.3 Порівняння отриманих значень для всіх сценаріїв симуляції
- 3.4 Вибір найкращого алгоритму в результаті порівняльного аналізу

І звісно , моя робота завершується висновками по отриманій в результаті реалізації дипломного проекту інформації.

Частина 1. ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ

1.1 Представлення основної концепції гетерогенних мереж LTE

Для того, щоб почати аналіз алгоритмів для розміщення базових станцій для гетерогенних мереж. Розпочнемо з саме визначення гетерогенних мереж та самого стандарту LTE.

Long Term Evolution (LTE, англ. Long Term Evolution) — «довготерміновий розвиток»), маркетингова назва 4G LTE — назва мобільного протоколу передавання даних; проект 3GPP, стандарт з вдосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості, для розділення каналів користувачів використовує технологію OFDMA [30].

Серед особливостей LTE слід відмітити:

- Спрощена архітектура
- Цілком побудована на IP AIPN (All IP Network)
- Забезпечує більшу пропускну здатність на мережі радіодоступу RAN (radio access network) – швидкість завантаження при його використанні сягає 100 Мбіт/с на користувача
- Менша затримка на рівні RAN
- Підтримує мобільність між декількома гетерогенними RAN, що включає в себе підтримку таких систем, як GPRS, так і не 3GPP систем (наприклад WiMAX)

Слід наголосити, що остання особливість є ключовою для даного дипломного проекту, і саме на ній базується представлений у цьому документі алгоритм.

Гетерогенні мережа (HetNet) – це комбінація мереж різних технологій безпроводового доступу та типів стільників[29]. Гетерогенна мережа

вбирає в себе ці підмережі , для забезпечення кращої якості обслуговування для підвищення умовної позначки задоволеності користувача. Найголовніша ціль HetNet полягає саме в збільшенні вмістимості безпроводової мережі. В нашому ж випадку розглядається тільки одна технологія , а саме технологія LTE, тому ми будемо сфокусуватися саме на різних розмірностях стільників . Типову схему гетерогенної мережі LTE , можна побачити нижче:

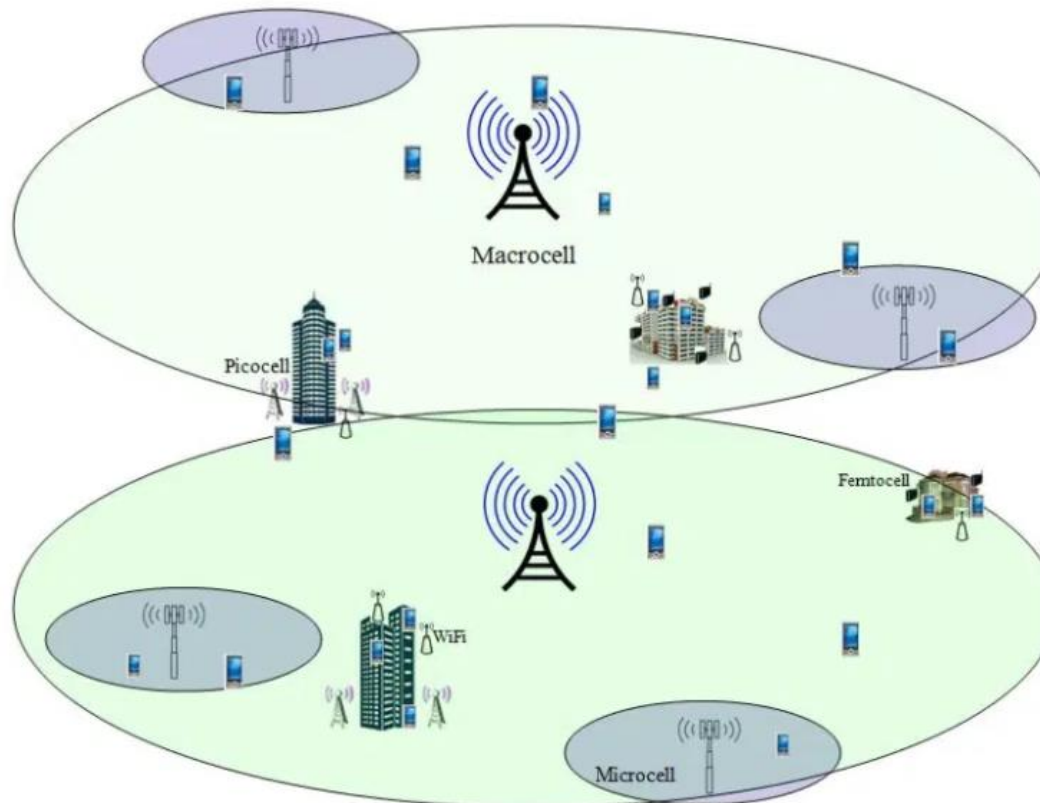


Рис 1. Стандартна структура гетерогенної мережі стандарту LTE

Слідуючи з рисунку , можна зрозуміти , що кожен із стільників в гетерогенній мережі виконує певну роль. Макростільники в такій схемі загалом потрібні для користувачів , які пересуваються транспортом , у випадку яких не потрібна велика кількість переходів між станціями. Стільники ж меншої розмірності націленні саме на певну ділянку території із високим використанням трафіку , наприклад: бізнес-центри , ТРЦ , площі , багатоквартирні будинки. Приблизні характеристики кожного із типів стільників можна побачити нижче.

- Макростільники: радіус покриття таких елементів може змінюватися від сотень метрів до декількох кілометрів. Вихідна потужність зазвичай становить десятки Ватт.
- Мікростільники: зазвичай покривають території не більше одного кілометра . Для таких стільників типово використовують вихідну потужність від міліватт до декількох ватт. Використовуються таких місцях як: стадіони , центри культури і тд.
- Піко стільники: радіус покриття становить приблизно () метрів . Вмістимість в загальному випадку не перевищує більше 100 користувачів . Використовуються в таких місцях як офіси , місця розничної торгівлі
- Фемпостільники: зазвичай використовуються користувачами для покращення якості покриття в особистих квартирах або покриття так званих “мертвих зон” в будинках (загалом на верхніх поверхах будівель). Такі стільники продаються оператором безпроводового зв’язку але встановлюються та експлуатуються безпосередньо користувачем.

З назви роботи слідує , що дослідження націлене саме на крупномасштабні мережі . В даному випадку будемо вважати , що це мережа кількість базових станцій в якій більше 20 , та площа розгортання якого більше 1 квадратного кілометра , це розмірності будуть використовуватися в наступних кроках дослідження.

1.2 Розбір поняття “еволюційний алгоритм”

Слідуючи з інформації , що була представлена у вступі до роботи , із плином часу та удосконаленням технологій , люди почали потребувати більшу швидкість передачі даних та відповідно кращі показники якості мережі. Ще при впровадженні 3G мережі , місцезоташування нової базової станції вибирається дуже ретельно та обережно, щоб задовольнити вимоги користувачів та високе використання трафіку, велику частину ресурсів та часу використовували для знаходження оптимального місцезнаходження . В

зв'язку з цим в період 2013-2014 року оператори стільникового зв'язку дійшли до висновку , що вони потребують оптимальний алгоритм планування крупномасштабних гетерогенних мереж .Перший еволюційний алгоритм був запропонований Шеральом[1] , який стверджував про одиночну та комплексну проблему передавачів , в його роботах був використаний генетичний підхід для знаходження найбільш близького та оптимального місцерозташування . Альманді [2] ж у своїх роботах запропонував використовувати дискретний метод оптимізації для того щоб полегшити процес вибору місцерозташування нової базової станції зі уже існуючого переліку можливих кандидатів , беручи головними параметрами для оцінки якість сигналу в напрямку вивантаження при фіксованій конфігурації базової станції , під час аналізу , також розглядався напрямок завантаження , оскільки в системах 3G одним із важливих показників якості була безперебійна робота сервісів даних для користувачів [3] .

Але , на практиці , мобільні оператори при розвертанні нової базової станції стикаються з рядом проблем: неможливість розміщення антени на оптимальній локації , непридатність місця для встановлення, лімітована кількість нових антен і тд. Тому вони мають щільно лімітований список можливих місць для розвертання базової станції . Слід додати , що розвертання повноцінної БС в умовах міста є дуже витратним процесом для операторів безпроводового зв'язку.

Це змушувало операторів досліджувати математично-програмні моделі для раціонального радіопланування мережі 3G , та зміни конфігурації вже наявних у використанні антенн , для поліпшення параметрів мережі [4] . В результаті першочерговий екземпляр математичної моделі був презентований , цей алгоритм використовувався для недорогих мереж з обмеженнями якості надання послуг . Модель базувалася на заданому покритті , яка використовувала нижчі вимоги до кількості базових станцій , що покривають задану територію , разом з цим використовувався підхід планування

радіомережі , що розбився на 2 фази , які в свою чергу являли покрокове програмне моделювання певного з випадків розташування. Після цього була представлена модель максимізації параметрів елементів [5] для вибірки найкращих базових станцій та обчислення ємності обслуговування. Також , зовсім нещодавно , адресуючись на думку , що основна задача оптимізації планування мережі зводилася до мінімальної кількості БС із всіх можливих планів розташувань БС. Кхалек[6] презентував своє формулювання проблеми оптимізації , яка брала в свою основу показники сумісних uplink та downlink для прийнятого положення БС та селекцію так званого сайту в безпроводових мережах. В алгоритмі селекції сайтів , мінімальний набір БС є вибраним із фіксованого набору для задоволення обраних характеристик якості та виключення певних обмежень. Після цього розташування БС визначається в підмножині області розвертання у відповідності до певних обмежень приватної власності , що наявна на цій території , та у певних обмеженнях у частині електромагнітного поширення хвиль . Проте після селекції сайту та його розташування , забезпечується більш місцеве рішення з меншою кількістю можливих БС , як можна зрозуміти , більша кількість БС потребує більше часу на розрахунки . Всі ці рішення поєднувала одна ціль – оптимізація бездротових мереж, тому пізніше ці твердження були допрацьовані та з'явилися перші еволюційні алгоритми .

1.3 Еволюційні алгоритми

Еволюційні алгоритми (ЕА) термін , який прийшов в телекомунікації та інші сфери життєдіяльності людини з біології та є яскравим прикладом так званих популяційних методів , для яких характерна робота з набором потенційних рішень , а не єдиним методом вирішення проблеми . Кожне з можливих рішень поступово вдосконалюється та оцінюється , а головною особливістю є те , що потенційно прийняте рішення впливає та те як будуть вдосконалені інші рішення . Це може відбутися із-за того , що правильні рішення вплинуть те , які з негативних рішень будуть відкинуті , або ж вони вдосконалять наявні проблематичні аспекти [7].

Традиційно еволюційні алгоритми включають в себе генетичні алгоритми (ГА) та еволюційні стратегії (ЕС). ЕС були створені в 60-х роках 20 століття групою німецьких вчених під керівництвом I. Rechenberg. Генетичні алгоритми ж були розроблені Н.Ж. Bremermann в 1958 році, та були популяризовані американським вченим J.H. Holland, який пристосував їх для вивчення адаптацій в природі для подальшого їх вивчення та використання даних механізмів та концепцій в інформатиці. Більш детально історію еволюційних алгоритмів можна розглянути тут[8] Всі еволюційні алгоритми, базуються на простому циклі, вказаному нижче.

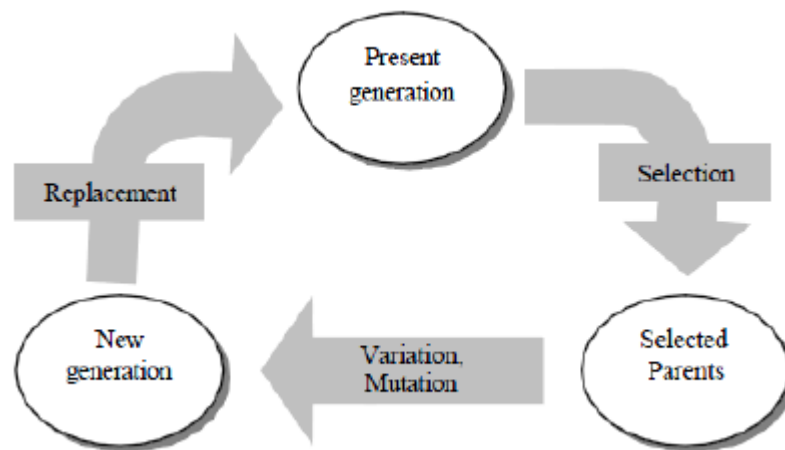


Рис 2. Базисний еволюційний цикл

Також слід сказати те, що в цій роботі буде розглядатися еволюційний алгоритм. А самі еволюційні алгоритми розділяються на генетичні алгоритми та еволюційні стратегії [9]. Вони в свою чергу мають ряд відмінностей[9,10]:

- Еволюційні стратегії оперують векторами дійсних чисел, а генетичні алгоритми – двійковими числами
- Різний процес селекції. При реалізації еволюційної стратегії процедура селекції процедура селекції БС в формуванні нової популяції, бере в основу створення проміжкової популяції, що в свою чергу містить батьків та потомків. В генетичному алгоритмі батьки та потомки не зливаються разом [11].

- При реалізації еволюційної стратегії в першу чергу проводиться рекомбінація . У випадку генетичних алгоритмів ця послідовність інвертується .

В деякому сенсі можна сказати , що розділення на ці дві різновидності тільки умовне.Краще стверджувати , що існують еволюційні алгоритми , параметрами , яких є: “спосіб організації процесу селекції ” , “ послідовність виконання процедур селекції та рекомбінації “ та інші[7] . Виконуючи комбінацію цих параметрів , ми можемо отримати або еволюційні стратегії або генетичні алгоритми.

Таким чином коректність використання терміну “еволюційний алгоритм “ можна пояснити дуже просто : всякий генетичний алгоритм являється в свою чергу і еволюційним алгоритмом , але не навпаки.

Як говорилося раніше , еволюційні алгоритми являються дуже молодим підходом до вирішення задач – йому приблизно 40-50 років . Відповідно ідея використання еволюційного підходу для параметричної ідентифікації , ще молодша. А використання їх на практиці саме для оптимізації безпроводових систем почалося зовсім нещодавно , але вже показали свою результативність.

Оскільки в даний час еволюційні алгоритми можна описати як глобальні оптимізаційні методи , вони успішно показували ефективність свого застосування у різних куточках світу[12]. Деякі з них були розроблені за доволі короткий період часу в сфері планування стільникової мережі. Загалом всі ці застосування брали за основу еволюційні алгоритми[13-15]. Одне із таких застосувань запропонував Вікер[13] , це були підготовчо-стаціонарні еволюційні алгоритми з випробуваннями Турето (stEART) , який в основу брав правильне назначення частот та розрахунок канальної інтерференції при розміщенні певної БС. Зовсім нещодавно вони звернулися до спостереження за певною множиною об'єктів і дійшли до висновку , що це потрібно враховувати при вирішенні проблеми розміщення елементів безпроводової гетерогенної мережі. Тінг [14] в свою чергу запропонував інтегрувати нове

представлення підходу змінної довжини субкомпоненти та новий перехресний алгоритм в їх недомінантний генетично-сортувальний алгоритм[15] , який є доволі ефективним в роботі з множинними об'єктами .Тим паче , є одна критична складність у використанні еволюційних алгоритмів – це велика кількість часу , що потрібна для аналізу характеристик, також значна кількість часу витрачається на велику кількість оціночних алгоритмів , що потрібні еволюційно-оптимізаційних методів . Слідуючи з цього , продуктивність еволюційних алгоритмів часто дуже швидко погіршується з ростом розмірності пошуку застосувань.

Для вирішення проблеми , що була згадана вище , про дизайн оптимального розміщення елементів для гетерогенних мереж стандарту LTE , треба спробувати розкласти проблему великої розмірності і вирішити кожну з наявних підпроблем індивідуально.Був запропонований групуючих алгоритм , що розділяє крок селекції з загальної кількості елементів до певних заданих груп . При аналізі не враховується той момент , що деякі стільники мають сильну кореляцію в зв'язку з міжстільниковою інтерференцією , в нашому випадку буде використовуватися кореляційно-групуючий алгоритм , на відміну від індивідуально-випадкового алгоритму групування з метою скорочення часу на аналіз та оцінку параметрів розміщення , для знаходження найбільш оптимального рішення . В цьому підході , елементи з сильною кореляцією (інтерферуючі стільники) формуються в певні групи , щоб знайти оптимальне розміщення базових станцій у цих мережах. Окрім цього , також було запропоновано модифікувати генетичні алгоритми , що були запропоновані [14] , для впровадження розділених груп . Ну що ж перейдемо безпосередньо до більш глибокого аналізу уже наявних еволюційних алгоритмів.

Еволюційні алгоритми зарекомендували себе , як глобальні оптимізаційні методи , що широко використовуються для преривчастих об'єктних функцій та мають доволі велику кількість певних можливих варіацій [16,17] .Із-за

можливості вирішення питань , що наведені вище , вони були успішно використані у великій кількості складних питань оптимізації по всьому світу , наприклад : певні фінансові та економічні застосування , оптимізація певних корпоративних мереж , уникнення можливих проблем для літаків , управління розумними мережами і тд . Якщо фокусуватися на проблемі розміщення базових станцій , то головною проблемою є знаходження найбільш оптимального місця розвертання , враховуючи певні можливі варіації зміни використання трафіку , потрібну вмістимість та інтерференцію вже інших сусідніх базових станцій . В комбінації ці всі фактори важко вирішити одночасно. Деякі евристичні методи, що базуються на еволюційній парадигмі , були розроблені для вирішення проблеми розміщення базових станцій . В [13] підготовчо-постійному еволюційному алгоритмі Паретто була використана нова МО(mobile originated) технологія, яка визначає певне частотне розділення , та частково вирішує проблему канальної інтерференції для розширення спектру можливих розташувань базової станції . Цей новий підхід комбінував схему стійких станів з дуже ефективною структурою даних , що в свою чергу веде до первинної часової складності . Зовсім нещодавно , спостереження за МО показали , що необхідно час за який може бути вирішена ця проблема розміщення передатчиків . Тінг запропонував інтегрувати нову репрезентацію методу змінної довжини і новий перехресний алгоритм в їх недомінантний генетичний алгоритм сортування , які показали себе ефективно в роботі з проблемами МО .

Якщо говорити про алгоритми оптимізації та їх вивчення в країнах СНГ . То слід звернути увагу на роботи Єрмолаєва С.Ю[18] про використання еволюційних алгоритмів оптимізації . Запропонований в цій роботі алгоритм базується на основах генетичного підходу. Схему запропонованого ним алгоритму , можна побачити нижче.

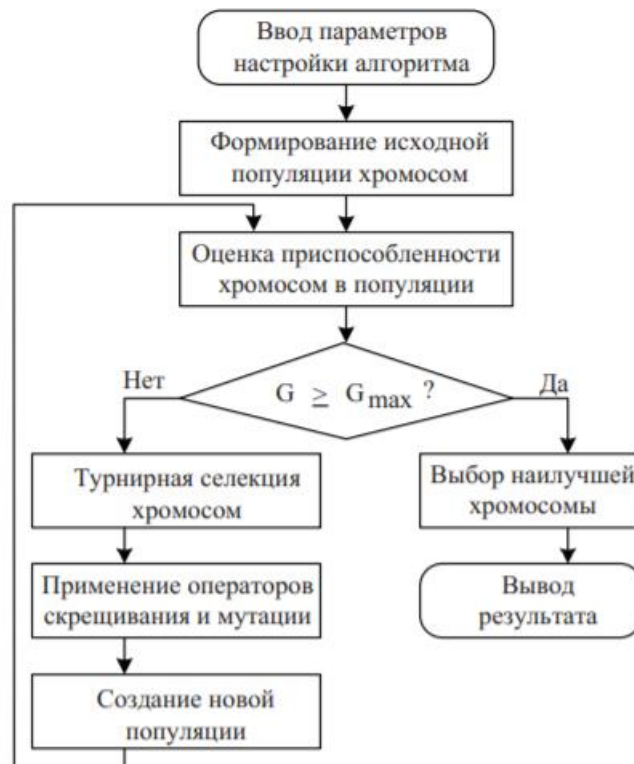


Рис 3. Схема генетического алгоритма, представленного Єрмалаєвим

На основі цього простого алгоритму побудована більшість підходів, для оптимізації розміщення базових станцій безпроводових мереж. Запропонований еволюційний алгоритм також базується на вищевказаній схемі.

Також слід згадати твердження про те, що основною складністю у використанні еволюційних алгоритмів є велике використання часу із-за високої складності аналізу характеристик для кількості попередніх оціночних параметрів у еволюційно-оптимізаційній техніці. Згідно з цим твердженням значення починають деградувати доволі швидко з ростом розмірності можливого простору пошуку. В будь-якому випадку, це один із можливих варіантів проблеми розташування базових станцій оскільки потреба людства у високошвидкісному підключенні з мережею інтернет тільки збільшується, це змушує операторів впроваджувати нові мікростільники в глобальну мережу.

1.4 Коеволюція та її використання в еволюційних алгоритмах

Спільна коеволюція була введена в еволюційні алгоритми з метою розгортання більш крупномасштабних мереж та вирішення оптимізаційних проблем через парадигму “ розділяй та вирішуй “[19] . Наглядний принцип роботи коеволюції можна побачити нижче

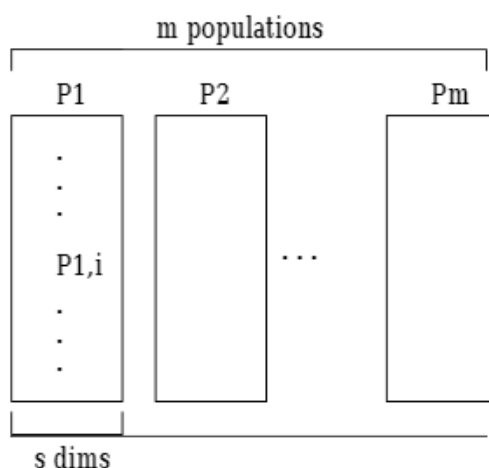


Рис 4.Розділення популяції на рівні компоненти

Загалом , роботу алгоритмів коеволюції можна описати наступними кроками.

1. Розділення параметрів об'єктивної функції на m -розмірні субкомпоненти
2. Оптимізація кожного з субкомпонентів з використанням вибраного еволюційного алгоритму . Вказуємо номер заздалегідь визначених оцінок
3. Зупинка еволюційного процесу , коли будуть задоволені вказані умови або буде досягнутий максимальний номер поколінь.

Вказаний алгоритм повинен був вирішити проблему великої розмірності , але в реальності тільки деякі проблеми були вирішені . Але , присутні алгоритми коеволюції не надали в підхід числової незалежності для нерозділених проблем. Тому для ефективного вирішення цих проблем деякі з фреймворків були модернізовані , спираючись на випадкове групування та рандомне

виділення значень для підкомпонентів в кожному з циклів проходження коеволюції[20-22] , замість використання застарілого методу статичного групування. Цей алгоритм не забезпечує систематичної процедури групування взаємодіючих значень та не надає їм незалежність , хоча це було показано в [20], що при випадковому групуванні , ймовірність розташування 2 взаємодіючих одиниць в один субкомпонент для достатньо висока . Для вирішення цієї проблеми , нещодавно було впроваджено деякі алгоритми для ідентифікації взаємодіючих одиниць та їх спільного групування в певні субкомпоненти для різних варіацій реальних оптимізаційних проблем . В документах [23] та [24] були запропоновані фреймворки з динамічною стратегією групування для гарантування безпеки в питанні контролю трафіку . В динамічній стратегії групування , велика кількість елементів поділені на підгрупи , які базуються на їх незалежності , також коректування відбувається динамічно , по мірі наростання конфліктів після кожної з ітерацій . Зважаючи на це , Омідвар [19] запропонував декомпозиційний метод , що був названий - диференціальне групування , який може групувати взаємодіючі одиниці з великою точністю , спираючись на глобальні оптимізаційні проблеми . Сам метод в основі своїй фокусується на дослідженні взаємозв'язків між одиницями . В той час як в гетерогенних мережах LTE повинен бути розроблений оптимальний план розділення частот по стільнику , заданий як різні рівні незалежності , оскільки інтерференція несе дуже значний вплив на базові станції і є одним із найважливіших параметрів при розвертанні мікростільників . Особливо ступінь незалежності між певною кількістю стільників базується на значенні інтерференції між елементами , що не взаємодіють між собою. Також хотілося додати , що вказані рівні незалежності є доволі частою проблемою в мережах LTE , спираючись на свій професійний досвід в оптимізації. Оскільки я мав справу з вирішенням даної проблеми та можу сказати , що в деяких випадках, неправильно розподілений стільниковий дизайн , може призвести до значної деградації показників антени , або базової станції в цілому.

В цій роботі головна увага приділяється саме алгоритму групування , оскільки саме його треба змінити для вирішення представлених вище проблем. Для підтвердження теоретичних даних про запропонований алгоритм , буде проведено порівняння його результатів , з уже наявним двома алгоритмами: випадкового групування та диференціального. Для кращого розуміння їх проблематики , нижче я розкрию основні принципи роботи цих алгоритмів.

1.5 Сучасні еволюційні алгоритми

Метод випадкового групування: цей метод не покладається на систематичні або комплексні дії для дослідження рівнів незалежності. Замість цього, він в своїй основі бере алгоритм переставлення елементів з метою розміщення взаємодіючих базових станцій близько один до одного , інвертує порядок “генів” у випадково вибраній частині так званої “хромосоми” .В той час коли точки зрізу вибрані випадково, довільне впорядкування генів може бути досягнуто в результаті поступового впровадження оператора перехрещення. Із-за вказаної специфіки його роботи він і був названий випадковим методом. В контексті СС , випадкове групування [20] представляє собою випадкове переставлення порядку кінцевих одиниць у кожному коеволюційному циклі, для збільшення ймовірності розташування двох взаємодіючих значень в один субкомпонент , хоча б на один цикл. Ця технологія має 3 головні проблеми:

1. Користувач має сам обрати розмір кожного з субкомпонентів
2. У варіанті розташування більше ніж двох взаємодіючих значень , ймовірність їх розташування в одному субкомпоненті для одного з циклів суттєво зменшується .
3. Дуже втрата часу на опрацювання для крупномасштабних мереж , із-за великої кількості потрібних циклів опрацювання.

Диференційне групування: вказаний алгоритм коеволюції має 2 основні кроки, спочатку йде самого групування а потім вже алгоритм оптимізації. Групування в даному випадку базується на взаємодіючій структурі для змінних значень як дісліджуються функцією групування , та відповідно формують

субкомпоненти. Також слід вказати, що функція групування може посилатися на будь-яку нелінійну групувальну функцію, але в даному випадку вона посилається на Алгоритм 1 в [20]. На етапі оптимізації, субкомпоненти, що утворилися на кроці групування, вдосконалюються за рахунок порівняння цих елементів, для визначеної кількості циклів. Функція оптимізації в даному випадку використовується, як числовий метод вдосконалення, який використовує інформацію, що отримана в результаті групування. Але запропонований метод також має одну проблемну сторону: важка реалізація для крупномасштабних мереж. Під час досліджень було доведено, в даному випадку реалізації спостерігається незбалансування між різними субкомпонентами, що в свою чергу збільшує час на опрацювання для великої кількості елементів, та обтяжує реалізацію, для великої номеру заданих значень.

Висновки до розділу 1

Було досліджено особливості роботи алгоритмів групування, які використовуються в сучасних реаліях, можна дійти до висновку, що на даний момент немає ефективного способу реалізації процесу групування базових станцій для крупномасштабних мереж стандарту LTE. Так як наявні алгоритми хоч і можуть бути використані, але із-за великої розмірності заданого аналізу не можуть вирішити за короткий проміжок часу, виходячи з інформації вказаної вище. Тому на даний момент, із-за стрімкого збільшення потреби в трафіку, оператори змушені ефективно модифікувати свою мережу, за короткий період часу. Тобто, слідуючи з наведених тверджень, було запропоновано розробити алгоритм, що потребує не так багато часу на опрацювання, та в свою чергу, показує хороші результати після процесу імплементації, для крупномасштабних мереж. Так як наведені вище алгоритми мають спільний недолік: неможливість, або складність використання для великої кількості взаємодіючих значень. Цей документ пропонує вирішення цієї проблеми, за рахунок модифікації процесу групування базових станцій та внесення певних коректив у вже наявні рішення.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕОРТИЧНИХ БАЗИСІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО АЛГОРИТМУ

2. 1 Проблема оптимізації процесу розвертання БС

В цьому підпункті хотілося б розкрити саму проблему , та розкласти її на підкомпоненти , побачити залежності і тд . Що ж для прикладу можна взяти певну територію що буде задана , як D . Слід зазначити , що в реальних умовах , при розвертанні гетерогенних мереж грають роль потужності передачі , загалом план створюють таким чином щоб на певній території була одна домінантна базова станція з найбільшим значенням потужності , це зроблено з метою забезпечення правильної процедури переходу між станціями, так званого хендоверу , тобто , беручи цей факт до уваги , можна сказати , що ця ділянка повинна бути покрита певною кількістю БС із різними значеннями потужності передачі . З цього можна прийти до висновку , що наша задача в цій частині знайти план розвертання , який міг би максимізувати задоволеність користувачів , в рамках пропускної здатності , що надається на певну одиницю планування та потреби користувача у кількості трафіку , при цьому виконавши умову представлену раніше.

Що ж вважатимемо , що M - це позначення базової станції , на певній території D , та кожна базова станція буде знаходитися за координатами , та будуть виконуватися умови представлені нижче

$$(x_b ; y_b) \in D(1 \leq b \leq M)$$

Також задамо потужність базової станції , як p_b . Слід зазначити , що значення M - це константа , що задається оператором мережі . Хай p_{max} – це максимальна потужність передавача базової станції , вона буде задана як

$$0 \leq p_b \leq p_{max}$$

Кількість користувачів , що присутня на на домені D , буде задана як N , відповідно , кожен з користувачів має певну локацію , що буде позначатися як:

$$(X_u, Y_u)(1 \leq u \leq N)$$

Потребу у використанні трафіку позначимо , як d_u . Вказавши позначення для цих величин , можна представити формулу обчислення відношення сигнал-шум для користувача:

$$S_{b,u} = \frac{p_b l_{b,u}}{N_0 + \sum_{1 \leq b' \leq M, b' \neq b} p_{b'} l_{b',u}} \quad (1)$$

Де N_0 - це потужність шуму , $l_{b,u}$ втрати сигналу між користувачем та БС , користувач заданий як u . Втрати користувача можна обчислити як :

$$l_{b,u} = \frac{10^{l_{b,u}}}{10}$$

Де

$$\hat{l}_{b,u} = 128.1 + 37,6 \log \sqrt{(x_b - X_u)^2 + (y_b - Y_u)^2}$$

Ми стверджуємо що T_u та U_U це пропускна здатність вивантаження та завантаження і задоволеність користувача . Задавши номер користувача , що обслуговується умовною базовою станцією , ми можемо вивести формули T_u та U_U з цього слідує , що :

$$T_u = C \times R_u \times \log_2(1 + S_{b,u}) \quad (2)$$

і

$$U_U = \min\left(\frac{T_u}{d_u}, 1\right) \quad (3)$$

Де R_u це кількість ресурсних блоків призначених до користувача і $C = 180kHz$ це ширина смуги пропускання . Також була задана величина для розрахунку , що містить в собі задану локацію користувача (координати) та його потребу у використанні трафіку.

$$U = \{(X_1, Y_1, d_1), \dots, (X_u, Y_u, d_u), \dots, (X_n, Y_n, d_n)\} \quad (4)$$

Функція задоволеністю системи F_u визначена як:

$$F_u(B) = \sum_{1 \leq u \leq N} U_u \quad (5)$$

Вказаний набір з величин що містять в собі місцерозташування та потужність передавання кожної БС:

$$B = \{(x_1, y_1, p_1), \dots, (x_b, y_b, p_b), \dots, (x_m, y_m, p_m)\} \quad (6)$$

Нехай A це буде перелік всіх можливих розвертат базових станцій на заданій території D з максимальною потужність передавачів p_{max} і хай H_b це буде перелік користувачів який обслуговується даною БС . Взавши до уваги вище сказані величини , можна підійти до таких тверджень

$$Maximize_{B \in A} F_u(B) \quad (7)$$

$$\sum_{u \in H_b} R_u \leq R_{max} (1 \leq b \leq M) \quad (8)$$

R_{max} - це максимальний номер приймачів що можуть розташовуватися на території , ця величина буде задана як 50 при використанні ширини смуги 20 МГц в LTE роздільному дуплексі завантаження .

2. 2 Коеволюція та групування БС

В цій частині я опишу запропонований еволюційний групувальний метод і еволюційний алгоритм , що використовується для вирішення проблеми оптимізації процесу розвертання базових станцій.

Виходячи із факту , що збільшення потреби користувачі у високоякісному та високошвидкісному з'єднанні , змушує операторів зв'язку розвертати крупномасштабні мережі із мікростільників. Слідуючи з цього , для точності отриманих результатів , територія D буде вважатися доволі обширною , що в свою чергу підвищує складність вирішення даної задачі[25]. Якщо говорити про коеволюцію , то вона дає можливість вирішення проблеми складності оптимізації в результаті розділення всієї мережі на субкомпоненти. Базуючись на цьому понятті , ми розділяємо цю задачу оптимізації процесу розташування за допомогою розділення базових станцій на різні групи .

Нехай B_1, B_2, \dots, B_G будуть підмножинами V що не перетинаються , де

$$B_j = \{(x_b, y_b, p_{b1}), \dots (x_{b_{nj}}, y_{b_{nj}}, p_{b_{nj}})\} (1 \leq j \leq G)$$

тобто V може бути повторно виражений , як :

$$V = B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_g$$

Підмножина B_j виходить з слідуочого:

1. Пілотна точка G випадково вибирається з домену D кожен з яких представляє собою певну групу B_j
2. Кожна з базових станцій що включена до субпереліку B_j , в якому базова станція має найбільше значення потужності прийнятого сигналу, серед G підмножин , що не перетинаються

2.3 Запропонований еволюційний алгоритм

В цій частині буде презентовані деталі та особливості запропонованого еволюційного алгоритму .

Починаючи з загального концепту еволюційного алгоритму , кожен з підходів починається з популяції P , що складається з індивідуального набору базових станцій B_j . Запропонований еволюційний алгоритм націлений на рішення , що надасть можливість знайти оптимальне розташування базової станції . Кожен із еволюційних алгоритмів містить в собі наступні кроки: оцінка кандидатів , вибірка батьків , використання оператора перехрещення та мутація

2.3.1 Оцінка кандидатів

На початку кожної з ітерацій всі індивідуальні стани оцінюються шляхом знаходження об'єктивної функції в виразі 5 . Тобто , чим більша пропускна здатність , тим більше оціночне значення . З цього слідує , що тільки найкращі 50 відсотків зберігаються для наступного покоління

2.3.2 Селекція батьків

Оператор селекції – оператор , який кожному елементу (залежить від характеристик елемента) має певну ймовірність бути відібраним. Для нашого випадку в кожній з груп , згенерованої для алгоритму групування базових станцій , були вибрані пари так званих батьків для наступного сформованого покоління . Конкретно для кожної груп індивідів $B^{(i)}$, $B_j^{(i)}$ сам стає батьком , поки інший батько $B^{(i')}$ ($i' \neq i$) вибирається з 50 відсотків найкращих індивідів , включаючи батьків , що уже були вибрані , з ймовірністю β_i де:

$$\beta_i = \frac{F_u(B^{(i)})}{\sum_{\forall B^{(i')} \in P, i' \neq i} F_u(B^{i'})} \quad (9)$$

Якщо спиратися на еволюційні алгоритми, що представлені в літературі , то не можна вирішити якому саме з батьків буде належати дитина . Також , подібна подвійність присутня в процесі вибірки батьків . Нижче описується процес генерації дитини .

2.3.3 Використання оператора перехрещення

Оператор перехрещення – генетичний оператор , при використанні якого із певного числа індивідів (батьків) отримуються нові потомки (діти) .

Для нашого випадку , дитина-індивід генерується для кожного з двох вибраних батьків , через використання оператора перехрещення та мутації при даному показнику перехрещення . Для генерації дитини , при гібридному перехрещенні , використовуються 3 можливі шляхи реалізації :

1. Дає можливість зробити тільки одне перехрещення із ймовірністю $P_c \times P_c$
2. Забезпечує 2 форми можливого перехрещення із ймовірністю $P_c \times (1 - P_c)$
3. Забезпечує тільки одноточкове перехрещення з ймовірністю

$$(1 - P_c)$$

Якщо говорити про представлення позиції базової станції та її потужності передачі, то вони задані, як $B^{(i)}, (x_i, y_i, p_i)$. БС включає в себе 24 біти, де ліві 16 біт та праві 8 біт показують позицію та потужність передачі, відповідно. Ми ж обираємо перехресний метод в якому можливо вибрати, якого з 2 батьків буде наслідувати дитина. Також для реалізації алгоритму, ми пропонуємо модифікувати одноточкове перехрещення між двома батьками $B_j^{(i)}$ і $B_j^{(i')}$. Позначимо $|B_j^{(i)}|$ як номер триплетів, що включаються в $B_j^{(i)}$, задано кількість базових станцій належить набору $B_j^{(i)}$. Після цього оператор перехрещення слідує за наступними кроками

1) Вибирається випадкова точка в межах $[0, (|B_j^{(i)}|, |B_j^{(i')}|)]$ Кожен з батьків в ділиться на 2 частини в цій точці

2) Нащадок генерується в процесі комбінації першої частини $B_j^{(i)}$ з другою частиною з $B_j^{(i')}$, що має однаковий номер кортежів в другій частині $B_j^{(i)}$ якщо $|B_j^{(i)}| > |B_j^{(i')}|$ то $(|B_j^{(i)}| + 1)$ – кількість кортежів $|B_j^{(i)}|$ що поєднуються з генерованими нащадками на цьому кроці.

Стверджуємо, що M це номер базових станцій на території D , це значення будемо вважати за константу. В той час коли в інших алгоритмах кількість можливих потомків (дітей) змінна [14], що в свою чергу призводить до змінного значення M . Приклад одноточкового перехрещення, який презентований в [14], можна побачити на рисунку 2. На ньому добре видно, що діти мають відмінну довжину (7 та 4 триплети) від їх батька 1 та батька 2 (5 та 6 триплетів, відповідно) для одноточкового перехрещення, при тому як запропонований еволюційний алгоритм залишає довжину дитини такою ж як і батька.

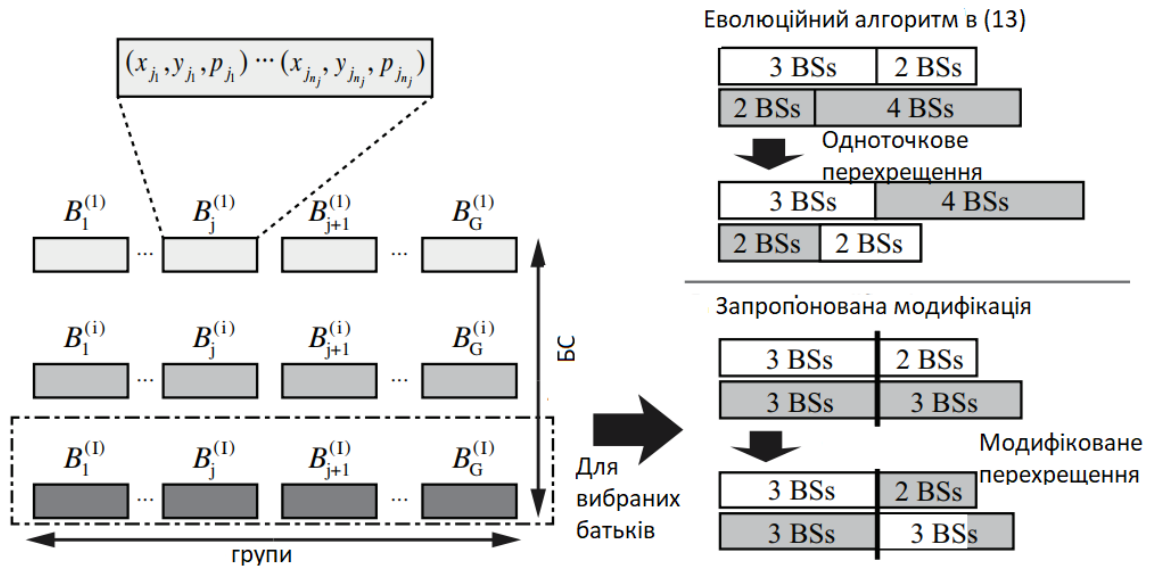


Рис 5. Приклади порівняння одноточкового перехрещення та запропонованого методу

2.3.4 Мутація

Оператор мутації – оператор широкого пошуку , тому що в результаті його використання можлива поява значень поза заданою статистикою. В нашому випадку після використання оператора перехрещення , мутація з показником мутації P_m виконується , надаючи кожній дитині бітовий шанс повернутися . Якщо говорити про мутацію в цілому , то в результаті ми отримуємо , що якщо користувач до використання оператора мутації був підключений до однієї базової станції , то після його впровадження , він буде підключений до іншої базової станції , в умовах того , що користувач знаходиться в радіусі дії цієї базової станції та виконання певних заданих умов.

Як я вказував у першій частині , мною був запропонований кореляційний групувальний алгоритм , що надає можливість стільникам із надлишковою інтерференцією бути розташованими разом в одній групі , це являється ключовою особливістю даного алгоритму , оскільки деякі стільники в гетерогенних мережах мають сильну кореляцію , в зв'язку з міжстільниковою інтерференцією . Тобто , в цій частині буде розглянута

ймовірність розташування 2 взаємодіючих одиниць в одну групу. Спочатку буде представлений числовий аналіз для нашого підходу та для алгоритму випадкового групування [20-22]. Після цього будуть надані результати роботи алгоритму, що базуються на значеннях, що були отримані в симуляції, та будуть представлені переваги отриманого методу над методом випадкового групування

2.4 Приналежність до однієї групи

Позначимо, що P – це ймовірність двох базових станцій бути розташованими в одній групі, N_k разів, протягом N_c циклів, кожен з яких містить в собі повну завершено еволюцію всіх заданих груп. Тобто для алгоритму випадкового групування базових станцій, отримаємо ймовірність групування:

$$P_g = \sum_{r=N_k}^{N_c} \binom{N_c}{r} \left(\frac{1}{G}\right)^r \left(1 - \frac{1}{G}\right)^{N_c-r} \quad (10)$$

Слід звернути увагу, що SINR при значних дистанціях, зазнає значних затухань між прийомником та передавачем, що добре видно з рівняння вище. З цього твердження робимо висновок, що ймовірність групування в нашому запропонованому еволюційному алгоритмі буде базуватися на відстані між базовими станціями. Будемо вважати, що ми маємо задане число БС M , а домен D включається до Пуассонівського точкового процесу із середньою густиною $\lambda = \frac{M}{A(D)}$. Це в свою чергу передбачає те, що всі базові станції використовують однакову потужність передачі та мають кругову зону покриття. Після цього потрібно вирахувати ймовірність групування цих БС в одну групу для таких можливих випадків

1. Кожна з базових станцій обрана як пілотна точка
2. Ні одна із них не вибрана пілотною точкою

Розглянемо ці випадки детальніше

Випадок 1

. Нехай $d_{i,i'}$ це дистанція між b_i і b'_i . Якщо b_i була вибрана певна пілотна точка G , то інша базова станція b'_i повинна належати до тієї ж групи, що і b_i . Тобто ні одна з G пілотних точок мінус вибрана як точка b'_i , може бути розташована в межах кола радіусу $d_{i,i'}$ центром якого є базова станція b'_i , оскільки потужність затухання, як відомо, залежить від дистанції до точки b'_i , як можна побачити з рівняння 2.

Нехай $f_{M,G}(n)$ — це ймовірність вибірки n базових станцій серед M кількості базових станцій мінус пілотна точка G . За допомогою цього ми розрахуємо ймовірність вибірки $f_{M,G}(n)$, з цього слідує.

$$f_{M,G}(n) = \left(\frac{M-G}{n}\right) \left(\frac{M}{n}\right)^{-1} \quad (11)$$

Використовуючи рівняння 11 ймовірність вибірки БС b'_i задана як b_i і це пілотна точка $P(i|i')$ що виражається так:

$$P(i|i') = \sum_{n=1}^{M-G-1} f_{M-2,G-1}(n) p_{i'}(d_{i,i'}, n) \quad (12)$$

Де $p_{i'}(d_{i,i'}, n)$ це ймовірність, що коло радіусом $d_{i,i'}$ центроване навкруги b'_i що містить в собі n точок, що задані як:

$$p_{i'}(d_{i,i'}, n) = \frac{(\lambda \pi (d_{i,i'})^2)^n e^{-\lambda \pi (d_{i,i'})^2}}{n!}$$

Використовуючи Пуасонівську модель. З цього слідує, що для першого випадку, ймовірність двох базових станцій належати одній групі рівна $P_c^{(1)}$, яка рівна:

$$P_c^{(1)} = \frac{G(M-G)}{M(M-1)} (P(i|i') + P(i')) = \frac{2G(M-G)}{M(M-1)} P(i) \quad (13)$$

Де перша частина $(G(M-G))/M(M-1)$ показує ймовірність того, що перший випадок відбудеться.

Розглянемо випадок номер 2

Візьмімо довільну базову станцію та припустимо, що ця базова станція найближча до нашої базової станції b_i (припустимо що $b_{i''}$ позначається як $P(i|i'')$). Зауважимо, що ймовірність $P(i|i'')$ є еквівалентною ймовірності даної базової станції $b_{i''}$ стати найближчою для b_i . З огляду на відстань $d_{i,i''}$ від БС до певної найближчої БС, з цього слідує, що ймовірність $P(i|i'')$ рівна:

$$P(i|i'') = \sum_{n=1}^{M-G-1} f_{M-1,G}(n-1) \frac{G}{M-n} \widehat{p}_i(d_{i,i''),n} \quad (14)$$

Де $\widehat{p}_i(d_{i,i''),n}$ показує ймовірність функції щільності $d_{i,i''}$ що задана як:

$$(d_{i,i'},n) = \frac{(\lambda\pi(d_{i,i'})^2)^n e^{-\lambda\pi(d_{i,i'})^2}}{n!}$$

Використовуючи модель ППП.

Наступним чином отримуємо, що ймовірність БС $b_{i'}$ бути обраною як пілотна точка $P(i'|i'')$, поєднуючи той факт, що базова станція b_i належить до групи, представлені $b_{i''}$. Хай $A_i(r)$ та $A_{i'}(r)$ позначають кругову область з радіусом r що центрується навкруги БС b_i та $b_{i'}$ відповідно. Після цього можемо виразити ймовірність так:

$$P(i'|i'') = \sum_{n=0}^{M-G-2} (n) \widetilde{p}_{i'}(D_{i',i''),n} \quad (15)$$

Де $\widetilde{p}_{i'}(D_{i',i''),n$ це ймовірність того що субкомпонент

$$D_{i',i''} = D \cap \{A_{i'}(d_{i',i''}) - A_i(d_{i',i''})\}$$

обмежений рівно.

З огляду на вибір випадку 2 з рівнянь 14 та 15, ми отримуємо ймовірність обох БС b_i та $b_{i'}$ належать до групи позначеною пілотною точкою $b_{i''}$, рівна $P_c^{(2)}$, з цього слідує що: $P_c^{(2)} = \frac{(M-G)(M-G-1)}{M(M-1)} \iint_D P(i'') P(i'|i'') \frac{dA}{A(D)}$ (16)

В якому перша частина рівняння показує ймовірність другого випадку.

В результаті , ми можемо виразити з рівняння 13 та 16 групувальну ймовірність запропонованої схеми:

$$P_g = \sum_{r=N_k}^{N_c} \binom{N_c}{r} (P_c^{(1)} + P_c^{(2)})^r (1 - P_c^{(1)} - P_c^{(2)})^{N_c-r} \quad (17)$$

Висновок до частини 2

Було запропоновано , що новостворений алгоритм базується на поєднанні рішень , що використовуються на даний момент . Серед нових аспектів , що були внесені в стандартну структуру еволюційних алгоритмів , слід відмітити:

1. Було знайдено вирішення проблеми крупномасштабності за рахунок коеволюційних алгоритмів , що розділяють всю кількість елементів , на певні субкомпоненти , та дають можливість не ускладнювати аналіз та пришвидшити його , не втративши при цьому можливості використання для крупномасштабних мереж.
2. Була введена модифікація процесу так званої “еволюції” шляхом модернізації механізму роботи оператора перехрещення , а саме використання алгоритму , який не змінює кількість триплетів для потомків (дітей) , та можливість вибору , якого саме з пращурів (батьків) буде наслідувати дитина.
3. У новоствореному алгоритмі запроваджено можливість групування взаємодіючих базових станцій в одну групу , оскільки деякі стільники в гетерогенних мережах мають сильну кореляцію , в зв’язку з міжстільниковою інтерференцією.

Всі вище представлені нововведення та модифікації , що були внесені в стандартну процедуру роботи еволюційних алгоритмів , в теорії , повинні покращити значення пропускну здатності в мережі , при цьому не жертвуючи часом на опрацювання , як ми це можемо побачити для випадкового групування . Та в порівнянні з диференційним методом , даний алгоритм , можна використовувати для крупномасштабних мереж.

Підсумувавши інформацію , можна сказати , що запропонований алгоритм, є комбінацією принципів роботи випадкового алгоритму та диференційного. Теоретично , алгоритм повинен вирішити задачі поставленні в даній роботі . В наступній частині дипломного проекту буде реалізоване практичне підтвердження роботи запропонованого еволюційного алгоритму.

ЧАСТИНА 3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Розрахунок значень для алгоритму

В цій частині мого дипломного проекту , мені б хотілося показати ефективність представленого в цьому документі алгоритму . Із-за неможливості реалізації симуляції саме на даний момент , я використав дослідження вчених із університету Йонсей (Республіка Корея) [26]. Тому всі результати , що будуть вказані нижче , будуть посилатися на їхнє дослідження.

Ну що ж розпочнемо комплексний аналіз саме із отриманих значень . Для точності аналізу , порівняємо розрахункові значення для запропонованого алгоритму із випадковим групуванням. Оскільки , як вказано в [20] , випадковий підхід показує себе краще ніж еволюційні алгоритми без групування , при однаковій проблемі при крупномасштабному плануванні. Це було зроблено з точки зору ймовірності групування , та в свої чергу надасть нам можливість перевірити ефективність запропонованого алгоритму. На рисунках [5-8] будуть презентовані розрахункові значення , відповідно результати симуляції будуть показані на рисунках , на графіках будуть показані залежності ймовірності групування від відстані між стільниками $d_{i,i'}$ $N_c=1$ та $N_c = 30$ випадків відповідно , були використані три різні значення для M та G . На фігурах позначення “Num” та “Sim” показують отримані в результаті розрахунку значення та результати симуляції . Територія D у цих випадках вважається круговою тв мала радіус 1000 метрів . Робота методів групування розглядається для обох рішень при неоднорідній міжстільниковій відстані:

$$(d_{i,i'}, 1 < i, i' < M)$$

Яка змінюється в межах від 50-500 метрів , також в кількість базових станцій M були розташовані випадковим чином , тільки перші дві БС були розташовані на відстані $d_{i,i'}$, один від одного . Кожна змодельована точка була отримана шляхом усереднення значень великої кількості симуляцій.

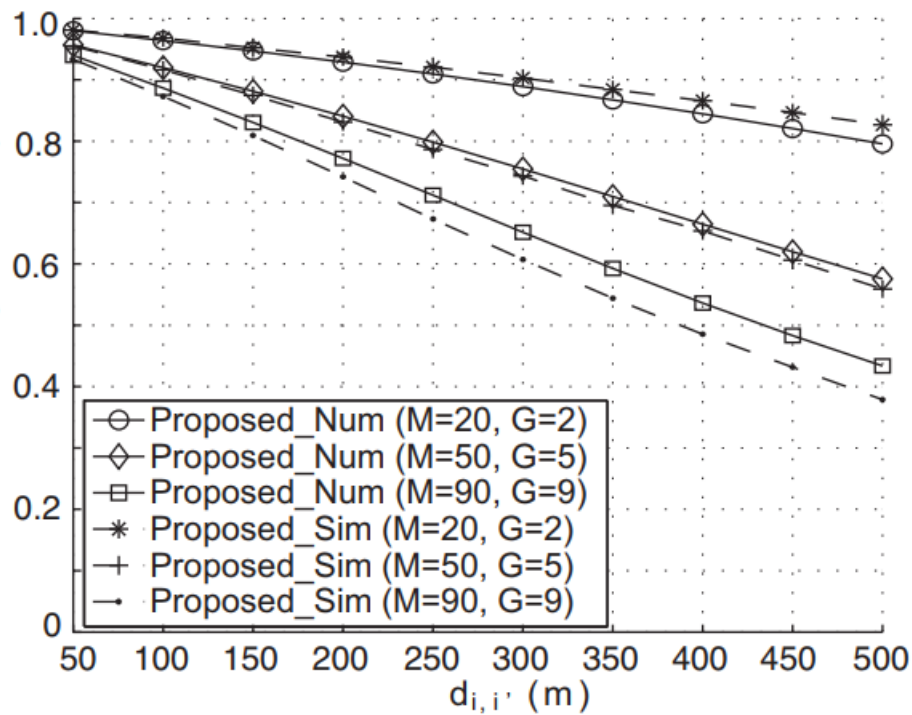


Рис 6. Залежність ймовірності групування від відстані(запропонований алгоритм)

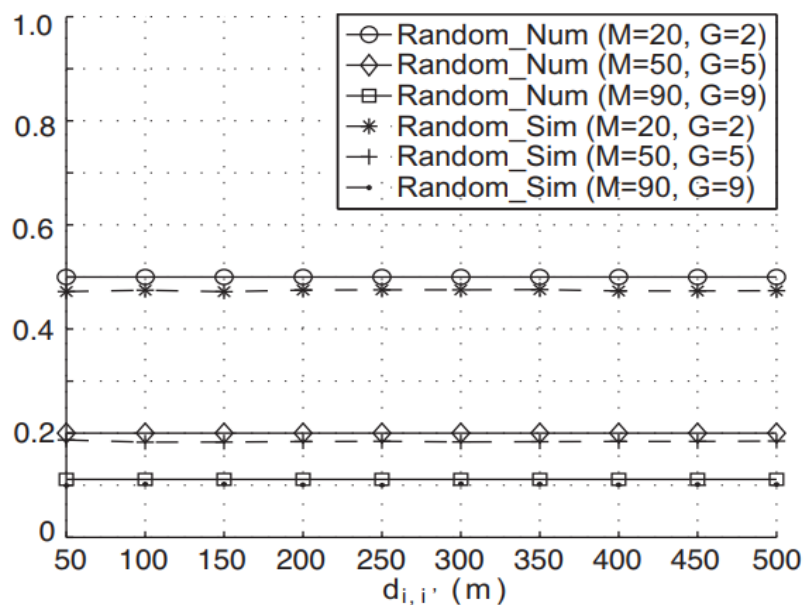


Рис 7. Залежність ймовірності групування від відстані(Випадковий метод)

Проаналізувавши графіки , можна побачити що на рисунку [5] розрахункові та результати симуляції зі збільшенням відстані починають деградувати . Це

відбувається із-за зменшення впливу міжстільникової інтерференції при збільшенні відстані між заданими елементами. З іншої сторони ми бачимо з фігури [6], що всі задані криві не деградують при збільшенні значення $d_{i,i'}$, оскільки при випадковому групуванні не враховується міжстільникова відстань. Під час опрацювання результатів для значень $N_c = 30$ де $N_k = 15$ - це значення показує кількість циклів для опрацювання ймовірності попадання двох базових станцій в одну групу. Групувальна ймовірність в запропонованому алгоритмі стрімко зменшується після помітки 400 метрів при $G=5$, а при $G=9$ швидка деградація ймовірності спостерігається вже після 300 метрів, також слід зазначити, що в цьому випадку ймовірність зменшується набагато швидше ніж при $G=5$, при $G=2$ відповідно можемо побачити не наскільки стрімке зниження групувальної ймовірності. Причиною цього явища є менша кількість заданих груп, тобто чим більше ми задамо початкових груп, тим менша ймовірність двох вибраних базових станцій належати одній групі. Побачити залежності наглядно можна на графіках нижче:

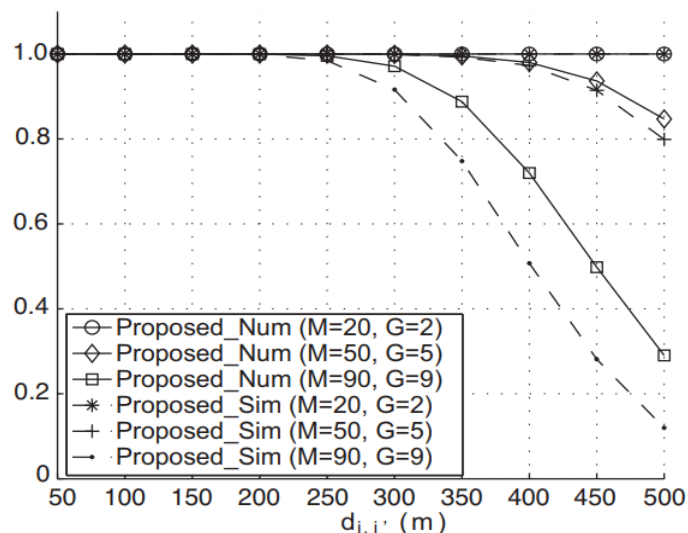


Рис 8. Залежність ймовірності групування від відстані(запропонований алгоритм $N_c = 30$ де $N_k = 15$)

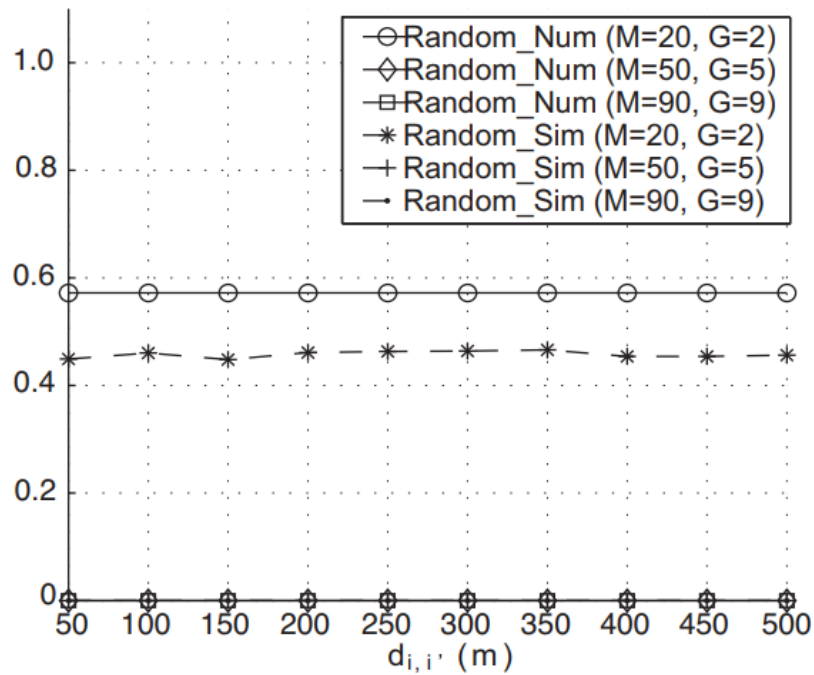


Рис 9. Залежність ймовірності групування від відстані(випадковий алгоритм $N_c = 30$ де $N_k = 15$)

Як можна побачити з фігур , передбачені та отримані результати приблизно рівні , та мають малу різницю. Також слід зазначити , що у групування при запропонованому алгоритмі є більш логічним та доцільним у випадку крупномасштабних мереж.

3.2 Моделювання роботи алгоритму

Для оцінки роботи представленого алгоритму , було запропоновано створити певні сценарії розповсюдження користувачів , щоб отримані результати були найбільш близькими до реальних . Для цього певна кількість користувачів була рознесена на площу 2 на 2 кілометри . Для того , щоб імітувати реальне використання трафіку в умовах міста , була задана густина користувачі як 10 та 15 на кілометр , що еквівалентно 400 особам та 900 у вибраній території симуляції. Також слід вказати , що розповсюдження користувачів впливає на кількість трафіку на вказаній території , який ми маємо брати до уваги при розташуванні базових станцій . Для точності роботи алгоритму та достовірної оцінки його ефективності для різних варіантів розповсюдження користувачів, ми використаємо 3 умовні моделі : рівномірна , Гаусівська , та гаусівська

чотирьохточкова модель розподілення користувачів . Відповідно , в рівномірній моделі користувачі рівно розподілені по території симуляції , в Гаусівській моделі найбільша густина користувачів сконцентрована в центрі заданої території і поступово зменшується до країв території симуляції . В чотирьохточковій моделі ми спостерігаємо те саме , що і в Гаусівській моделі , але замість однієї центральної точки ми маємо чотири . На рисунках нижче можна нагрядно побачити розподілення користувачів для цих моделей розповсюдження:

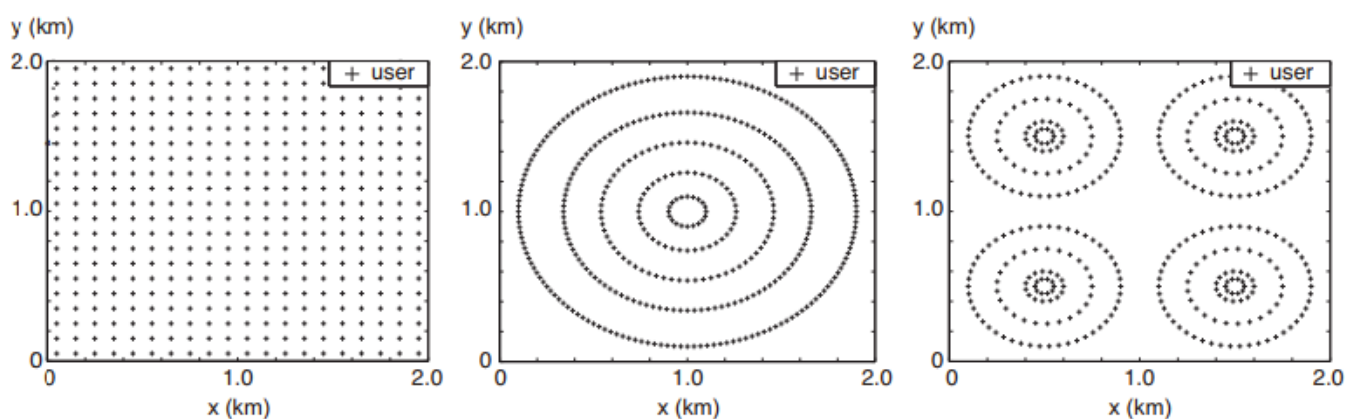


Рис 10 . Сценарії розповсюдження та густини користувачів , що будуть використовуватися в даній роботі

Відповідно , перший рисунок на зображенні показує рівномірне розділення користувачів , така модель розповсюдження характерна для міст з низькою поверховою забудовою, що в свою чергу надає можливість перевірки ефективності алгоритму при таких , непередбачуваних умовах. Другий графік показує , характерний для міста сценарій , це може бути мікростільник , що встановлений в одному із ТРЦ в місці великого скупчення людей , така практика є доволі частою , та на мою думку сфера використання такого методу розшириться на багатоповерхові будови із-за їх специфіки покриття. А третій рисунок явно показує головну концепцію , на якій базується саме наш підхід , про розташування великої кількості мікростільників , для вирішення проблеми навантаження на мережу , та підвищити її вмістимість. Такий сценарій характерний для центра міста , де приблизно в одному районі можна

велике скупчення бізнес-центрів , торгових молів , та взагалі – місць з великим скупченням людей. При такому сценарії необхідно зважувати на використання трафіку , та на можливості мережі в цілому. Завжди слід враховувати факт присутності міжстільникової інтерференції при таких сценаріях .

Побачивши загальну концепцію запропонованих сценаріїв можна прийти висновку , що кожен з них частково імітує деякі з реально можливих ситуацій при плануванні мережі . Особливо , якщо брати в контекст розміщення макростільників , що не повинні покривати малі площі , з великою кількістю користувачів.

Було встановлено , що всі користувачі мають однакову потребу у трафіку 1 Mbps . Для заданої кількості користувачів , було визначено кількість необхідних базових станцій кількість яких буде рівна $N/10$, тобто 10 користувачів на один елемент мережі , слід зазначити , що така кількість є оптимальною , та якщо брати до уваги специфіку сучасних LTE мереж , така розстановка забезпечить також обширний запас на майбутніх користувачів.Ймовірність мутації була обрахована , як :

$$P_m = 1/\text{розмір_субкомпонента}$$

Де розмір субкомпонента задана як 24 , тобто ймовірність перехрещення в даному випадку рівна 0.9 . Як рекомендовано в документах в [19] та [26] , найкращим числом БС для однієї популяції є 50 одиниць . Максимальна потужність передачі була була задана , як 46 dBm слідує з [27] та [28]

Параметр	Значення
Розмір популяції	50
Ймовірність перехрещення P_c	0.9
Ймовірність мутації P_m	1/24
Номер груп G	M/10
Номер циклів N_c	30

Загальна кількість користувачів N (10 користувачів на кілометр)	400
(15 користувачів на кілометр)	900
Максимальна потужність передачі p_{max}	46 dBm

Таблиця 1. Характеристики симуляції

3.3 Результати симуляції

Як вказано раніше , ми почали з M випадково розташованих базових станцій.

Це число вважатиметься випадковим значенням , після цього відбувається запуск роботи еволюційного алгоритму , який презентований в частині 2 , для знаходження оптимальної локації для базової станції . Симуляція буде відбуватися в 2 режимах , з передвстановленими макростільниками (для імітації умов міста) та без них (для імітації створення плану нової території). Спочатку , для створення нагрядної картини , ми покажемо результати алгоритму випадкового групування , цим ми доведемо той факт , що велика кількість базових станцій та високий рівень сигналу не показують себе ефективно , та те що такий підхід не є доцільним.

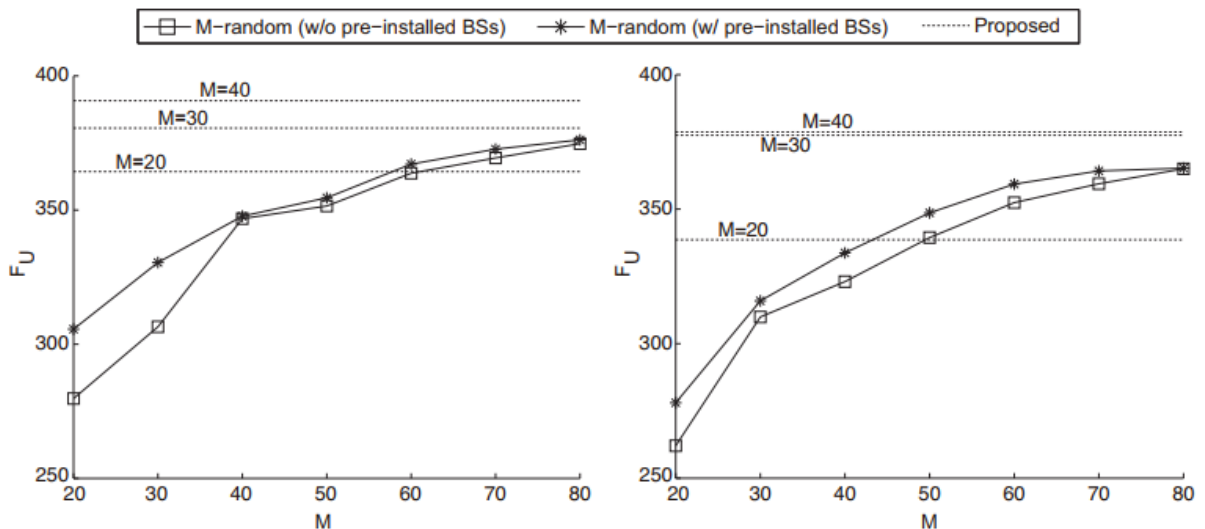


Рис 11. Графіки номер 1 та 2

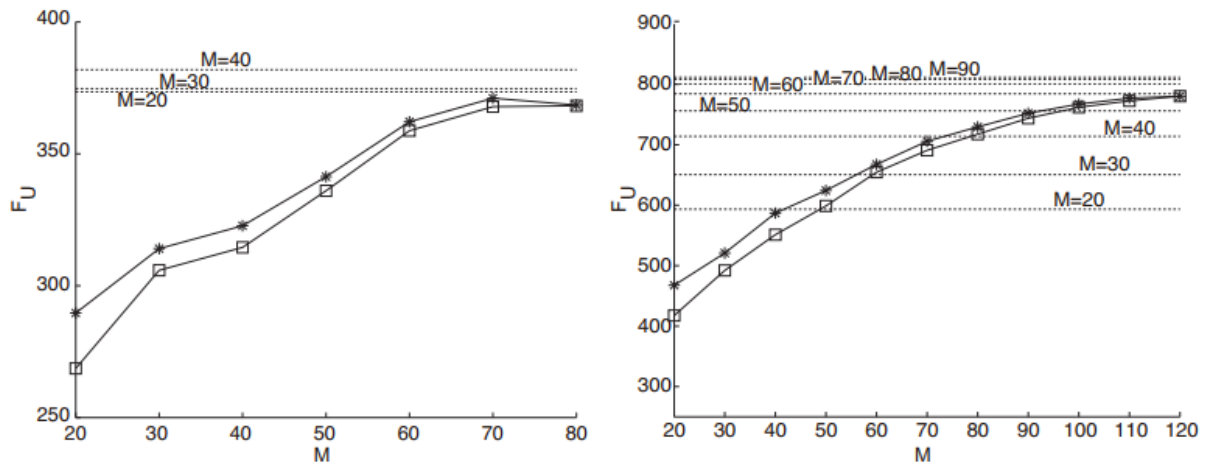


Рис 12. Графіки номер 3 та 4

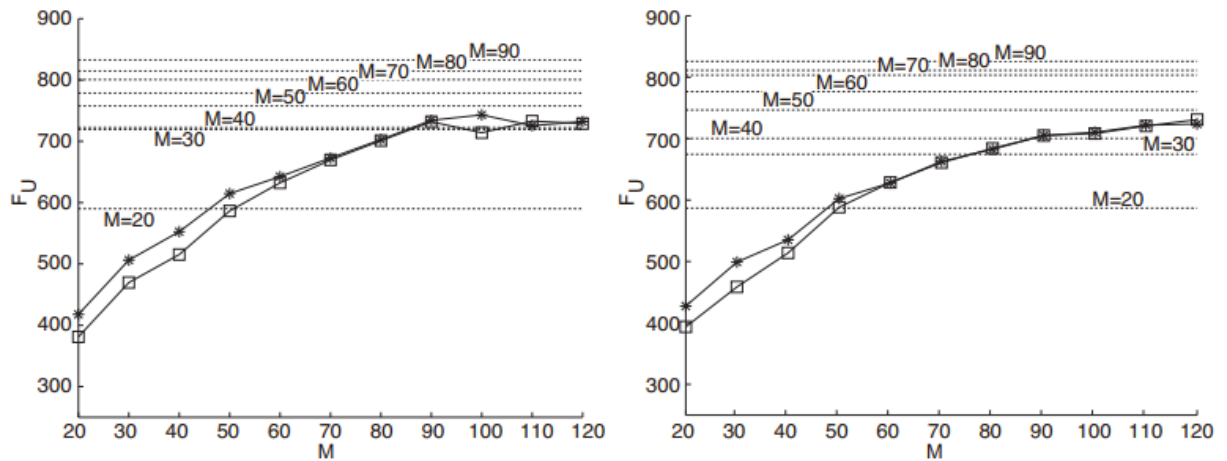


Рис 13. Графіки номер 5 та 6

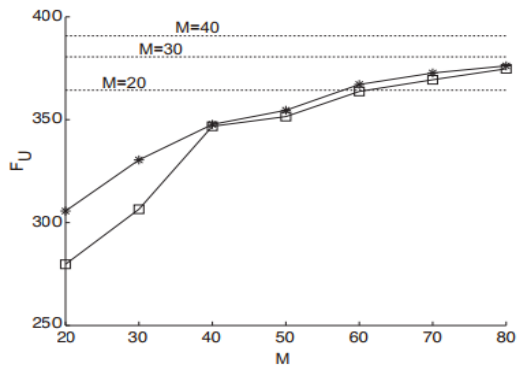
Графіки вище показують значення функції задоволеності системою для обох алгоритмів, запропонованого нами та випадкового. Якщо говорити про кількість всіх базових станцій на території, то за заданою умовою, їх буде 40 та 90, відповідно, для двох випадків густини користувачів. Симуляція проводилася за типом збільшення кількості базових станцій, число поступово змінювалося, з 10 до 20, потім 40 та 90 для запропонованого алгоритму. Для алгоритму випадкового групування, число збільшувалося з 20 до 80, а потім до 120, для 10 користувачів на кілометр та 15. На графіках, горизонтальні лінії показують функцію задоволеності системи для запропонованого алгоритму. Тобто там де лінія з поміткою "M=20" перетинає криві, те значення i є отриманим в результаті симуляції для запропонованого

алгоритму, також квадратами позначені точки , що позначають результати при відсутності попередньо встановлених макростільників і відповідно зіркою позначено дані з встановленими базовими станціями , це було зроблено для наглядного порівняння очевидної ефективності нашого рішення.

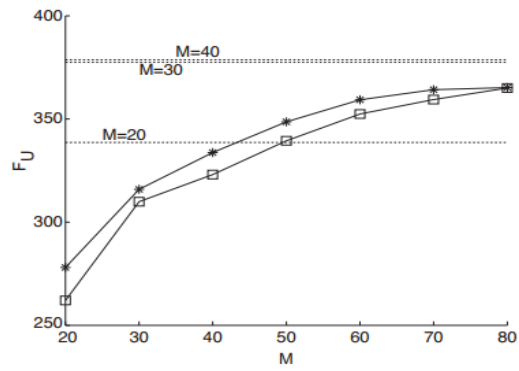
Як можемо побачити з графіків , при використанні випадкового групування , темп збільшення функції задоволеності системою зменшується зі збільшенням кількості базових станцій . Це відбувається із-за прогнозованого впливу інтерференції , користувач втрачає якість обслуговування , коли сусідній стільник “освітлює” ту ж територію , що і основний. Якщо комбінувати цю проблему , ще із неправильно заданими рівнями незалежності , то в результаті ми отримуємо , що сусідній стільник буде забирати користувачів у основного , та в свою чергу не надаватиме потрібну якість обслуговування. Ця проблема є однією з головних при оптимізації мережі , я також в результаті своєї професійної діяльності стикався з подібними проблемами. Також , проаналізувавши отримані результати , можна прийти до висновку , що запропонований алгоритм показує набагато кращі результати , наше рішення при 40 встановлених базових станціях , має такі ж значення , які має випадковий алгоритм при 80 , тобто представлений механізм групування в цьому випадку показав себе в два рази краще . З цього результату можна прийти до висновку , що велика кількість макросів не є доцільним рішенням, навіть у випадках великої потреби у трафіку , оптимізаційні заходи можуть вирішити певні проблеми мережі та максимізувати задоволеність користувачів. Також слід наголосити , що у всіх можливих сценаріях , запропонований алгоритм показав себе краще . Тобто , із отриманих результатів , в порівнянні з випадковим групуванням , наше рішення показало себе в рази краще , при цьому мінімізувавши кількість базових станцій для реалізації цього плану розвертання.

— - без попередньо встановлених макросів

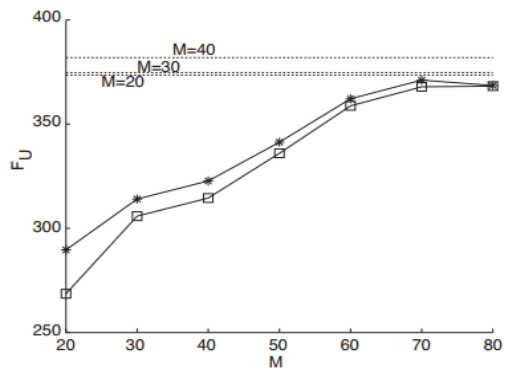
* - з 5 встановленими макростільниками



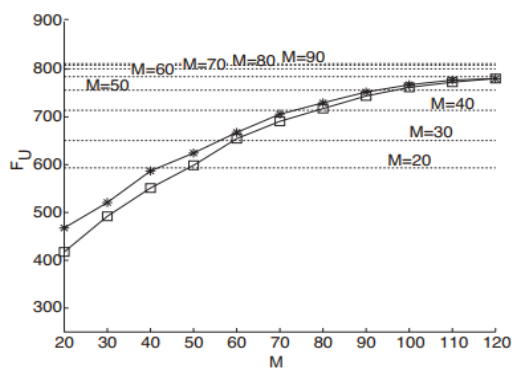
a)



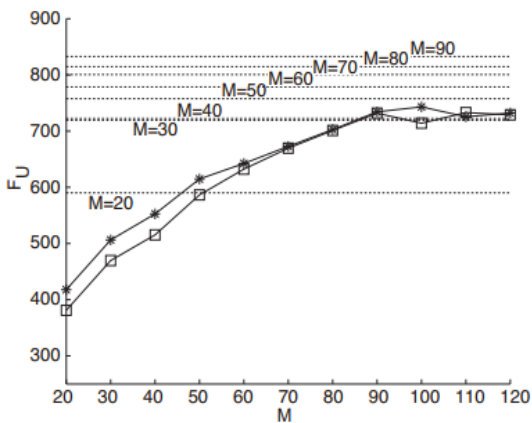
б)



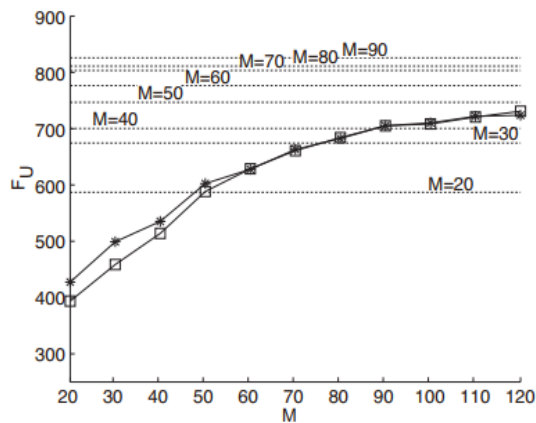
в)



г)



д)



е)

Рис 14-17. Графіки а-в позначають результати при густині користувачів 10, відповідно г-е при 15 користувачах.

3.4 Покращення значень пропускної здатності

Цьому розділі будуть розглянуті та порівняні отримані результати для запропонованого алгоритму. Слід зазначити, що порівняння буде відбуватися

з двома алгоритмами: випадковим та диференційним . Нагадаємо , що другий алгоритм для порівняння базується на знаходженні взаємодіючих елементів шляхом моніторингу змін в об'єктивній функції , в результаті чого в кінці детального аналізу починається фаза групування , як це показано в [19]. Цей підхід , що базується на диференційному групуванні , називають алгоритмом знаходження взаємодій (IDG-EA) . При симуляції IDG-EA , поріг визначення взаємодіючих значень буде відбуватися з переліку 10^{-3} , як рекомендовано у [19] .

В зв'язку з тим , що наша мета максимізувати пропускну здатність на користувача в цьому дослідженні (вказана як F_u) пропускну здатність системи використовується як головний показник для аналізу та порівняння трьох алгоритмів. В даному випадку , F_u показує кількісне число покращення пропускну здатності (вказана в процентах) для трьох досліджуваних алгоритмів.

В таблицях наведених нижче , я відображу середнє значення покращення функції задоволеності системою , максимальні отримані значення та мінімальні , відповідно для RG-EA , IDG-EA , та запропонований EA для кожного з 3 видів розповсюдження , без попереднього встановлення макростільників та для випадку попереднього розташування на території п'яти макростільників відстані між якими рівна 750 м , слід додати , що така відстань зараз оптимальна для розташування макросів в умовах міста, та широко використовується при створення нового планування та розвертання базових станцій .

	M	RG-EA			IDG-EA			Запропонований EA		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
10 кор/км	20	40.75	37.78	42.97	31.33	25.63	39.63	48.48	47.27	50.04
	30	50.88	50.52	51.37	41.22	37.47	45.59	54.93	51.88	56.29
	40	28.55	27.41	29.75	22.20	21.79	23.34	32.15	30.99	33.54
15 кор/км	20	87.26	83.28	90.17	61.57	47.12	72.30	105.31	102.73	107.84
	30	111.18	109.71	113.16	77.97	68.14	89.78	122.50	114.47	132.84
	40	119.13	114.95	124.40	97.23	89.06	107.07	124.13	121.38	125.59
	50	114.31	110.38	118.61	99.59	87.80	111.72	117.46	113.37	123.63
	60	99.23	96.45	102.13	79.50	77.11	82.37	105.63	100.22	109.80
	70	89.08	85.25	91.75	75.01	70.84	85.45	97.76	95.45	100.16
	80	84.89	81.35	87.33	69.24	61.51	77.63	85.95	84.30	87.88
	90	74.88	73.06	77.12	60.96	50.98	67.28	77.16	76.22	78.48

Таблиця №2 Покращення пропускної здатності при рівномірному розподіленні користувачів(без передвстановлених макростільників)

Якщо говорити про отримані результати , то слід зазначити , що запропонований еволюційний алгоритм показав себе краще за алгоритм випадкового групування у всіх можливих сценаріях та варіаціях . Отримані результати , в порівнянні з RG-EA показали на 18.97% та 20.98 % кращі результати для двох різних значень густини користувачів. Слід звернути увагу , що навіть мінімальні значення , що були отримані в результаті симуляції , більші ніж середнє значення для випадкового алгоритму. Також було з'ясовано , що статистика для нашого рішення вища для двох інших сценаріїв. Особливо слід звернути увагу , на сценарій Гаусівського розповсюдження (чотирьохточкового) в даному випадку отримані значення були вищими на 16.64 % та 12.33% (17.08 % та 12.52 %) в порівнянні з випадковим алгоритмом . Це чітко видно з отриманих таблиць .

	M	RG-EA			IDG-EA			Запропонований EA		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
10 кор/км	20	51,89	50.01	56.03	34.90	31.65	40.53	60.52	53.64	65.19
	30	57,64	56.64	59.95	48.01	42.17	53.57	62.25	59.91	64.63
	40	42,56	41.48	43.54	33.03	27.95	38.14	45.02	43.39	47.31
15 кор/км	20	154,92	147.09	160.76	118.54	108.40	137.65	170.84	165.22	177.03
	30	168,34	165.99	172.31	122.74	118.88	130.50	189.09	181.53	202.54
	40	183,87	175.69	188.35	141.99	118.71	161.44	197.50	186.71	206.43
	50	148,31	144.24	154.72	114.48	104.36	125.06	163.48	158.07	191.20
	60	128,11	120.93	131.55	107.58	91.20	116.21	138.41	128.36	149.71
	70	114,18	111.69	116.79	98.43	92.60	103.47	117.47	113.46	120.84
	80	104,98	102.22	109.23	78.44	64.87	88.24	108.30	102.89	112.75
	90	87,74	85.87	89.64	71.05	60.94	79.48	93.86	92.14	97.11

Таблиця №3 Покращення пропускної здатності при Гаусівському розподіленні користувачів(без передвстановлених макростільників)

	M	RG-EA			IDG-EA			Запропонований EA		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
10 кор/км	20	60.04	57,63	64,31	34,37	29,67	39,16	70,29	62,51	74,00
	30	54.10	48.30	57.09	41.10	36.29	47.95	60.33	55.05	66.6
	40	52.61	51.92	53.26	44.03	40.01	49.95	56.37	55.80	56.9
15 кор/км	20	128.12	20.42	138.06	74.14	63.31	81.58	144.15	140.94	147.6
	30	163.92	59.22	166.33	115.27	99.78	123.69	180.24	168.59	187.4
	40	164.69	58.12	169.18	120.82	107.00	146.33	171.79	164.99	180.4
	50	132.79	28.90	139.37	101.65	88.15	109.37	143.64	138.25	149.2
	60	123.42	21.16	126.38	97.35	92.59	103.36	130.27	123.82	133.3
	70	112.62	108,60	120.19	90.74	86.15	99.58	120.14	115.26	125.1
	80	111.32	109,07	112.84	88.22	81.91	100.52	116.44	115.96	117.2
	90	104.97	102,30	108.22	71.05	60.94	79.48	108.39	107.14	109.8

Таблиця №4 Покращення пропускної здатності при чотирьохточковому Гаусівському розподіленні користувачів(без передвстановлених макростільників)

Якщо говорити про IDG-EA то ми побачили різницю у 55.8 % та 66.85 % для рівномірного розповсюдження при різних густинах користувачів , оцінивши ці значення , можна побачити наглядну перевагу запропонованого алгоритму . При двох інших сценаріях ми побачили різницю в 73.4 % та 44.120 % і для чотирьохточкового сценарію в 104.5 % та 94.42 % .

Таблиці нижче , представляють результати для варіанту з вже передвстановленими базовими станціями , імітуючи цим умови міста , нагадаємо , що міжстільникова відстань рівна (ISD 750 метрів . Для всіх можливих варіантів розповсюдження запропонований алгоритм показав найкращі результати . Якщо говорити точно то наше рішення краще на 11.78%, 16.28% та 8.89% для трьох сценаріїв (10.89%, 11.57%, та 7.50% для густини в 15 користувачів) від алгоритму випадкового групування RG-EA. Якщо говорити про IDG-EA то у варіанті з передвстановленими базовими станціями він показав себе краще , але різниця все ще залишається доволі суттєвою , та не показує краще навіть в порівнянні з алгоритмом випадкового групування. Все це відбувається із-за того в IDG-EA більш відділенні значення класифікуються як нероздільні одиниці . Якщо говорити про точні результати

то запропонований алгоритм показав себе краще на 37.34%, 69.02% і 32.38% (43.18% , 89.84% та 40.97 % для густини в 15 користувачів)

	M	RG-EA			IDG-EA			Запропонований EA		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
10 кор/км	20	50.89	50.45	51.32	41.42	39.98	42.65	56.89	54.53	58.75
	30	42.37	41.87	43.10	41.39	39.45	42.37	47.30	44.51	50.11
	40	39.30	38.21	40.96	36.51	34.97	38.02	41.14	39.75	43.04
15 кор/км	20	116.63	111.30	121.38	97.54	95.06	100.92	123.52	118.31	125.89
	30	117.07	116.37	118.11	118.01	115.31	121.85	128.42	127.28	129.81
	40	118.89	115.70	121.71	112.72	108.93	118.48	124.15	119.90	126.91
	50	114.47	112.99	114.35	107.39	105.41	109.75	122.81	117.12	131.76
	60	109.34	108.75	110.13	80.67	70.09	86.90	111.64	109.33	116.83
	70	88.02	86.58	89.93	65.85	56.22	74.79	90.45	88.97	94.91
	80	74.10	71.42	78.18	58.47	54.31	61.97	76.89	75.47	78.68
90	51.59	50.24	52.76	39.96	36.75	44.84	57.21	54.41	59.46	

Таблиця №5 Покращення пропускної здатності при рівномірному розподілі користувачів(з 5 попередньо встановленими макростільниками)

	M	RG-EA			IDG-EA			Запропонований EA		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
10 кор/км	20	50,05	48,72	51,08	34,43	31,39	38,80	58,20	56,50	60,58
	30	57.02	55.23	58.94	50.44	46.91	53.41	58.80	56.18	62.59
	40	40.54	38.37	42.56	36.74	33.46	41.10	43.23	41.49	44.98
15 кор/км	20	151.00	148.90	153.13	105.53	99.89	110.42	165.15	160.94	172.24
	30	187.66	184.37	193.76	110.24	101.58	118.06	209.38	204.18	214.03
	40	152.81	150.21	154.65	150.58	145.22	156.22	160.22	153.03	169.78
	50	134.39	130.14	137.68	120.33	116.99	128.03	138.42	131.13	142.80
	60	129.17	126.21	132.38	114.45	110.2	117.68	133.38	130.24	136.34
	70	120.22	114.96	125.47	97.45	88.29	107.66	123.32	117.78	127.83
	80	104.53	102.74	106.14	87.42	78.04	99.33	109.97	106.46	111.88
90	90,59	87,80	91,91	79,63	74,94	82,79	94,50	91,92	98,44	

Таблиця №6 Покращення пропускної здатності при Гаусівському розподілі користувачів(з 5 попередньо встановленими макростільниками)

	M	RG-EA			IDG-EA			Запропонований EA		
		Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
10 кор/км	20	77,13	71,67	79,95	60,10	58,93	62,15	79,56	75,77	84,89
	30	54.66	53.07	56.18	48.68	45.29	53.02	58.01	55.05	60.67
	40	52.39	45.00	54.08	47.57	45.44	50.74	57.05	53.94	59.16
15 кор/км	20	143.03	140.17	144.90	109.21	91.73	129.88	153.59	148.85	159.40
	30	163.92	159.67	166.91	121.79	115.55	126.21	171.68	165.59	175.47
	40	152.70	149.28	156.53	130.78	117.23	144.09	159.90	157.32	164.99
	50	132.20	130.29	133.39	119.62	117.06	121.40	141.47	135.04	144.39
	60	130.66	127.07	132.64	114.80	108.72	121.41	140.45	134.10	148.50
	70	123.03	121.28	129.09	103.87	100.47	105.87	126.95	122.13	140.40
	80	121.00	116.93	122.99	101.33	85.54	103.63	123.84	119.49	128.47
90	110.79	108.05	112.61	94.71	86.02	100.26	115.61	112.06	120.55	

Таблиця №7 Покращення пропускної здатності при чотирьохточковому Гаусівському розподіленні користувачів(з 5 попередньо встановленими макростільниками)

Оцінивши отримані в результаті симуляції значення ми прийшли до висновку , що найбільш значні підвищення пропускної здатності були отримані при значеннях в $M=20$ та 30 , для густини користувачів , що рівна 10 користувачів на кілометр , при варіанті 15 користувачів , найкраще показало число базових станцій , що рівне 30 та 40 . Ці точки показують себе , як точки найбільшого приросту (у відсотках) , я б сказав , що це пікові значення , після яких збільшення продовжуються , але не такими стрімкими темпами. Причиною цього є згубний вплив міжстільникової інтерференції на мережу , яка після певної точки починає зменшувати корисну дію базових станцій . В результаті симуляції було доведено ефективність запропонованого алгоритму , у всіх можливих варіаціях умов , запропонований алгоритм показав себе найкраще , що доводить доцільність його використання . Слід додати , що не було ні одного підтвердженого результату , який би показав гірші значення , аніж алгоритми з якими проводиться порівняння. Наше дослідження можна вважати завершеним.

Висновки до 3 частини

В результаті роботи аналізу отриманих розрахункових значень , та отриманої інформації після роботи симуляції можна прийти до таких кінцевих тверджень, про роботу алгоритма.

Визначено , що алгоритм показує себе краще , ніж алгоритм випадкового групування, різниця в покращенні пропускної здатності сягає від $8-18\%$, при тій умові , що запропонований алгоритм використовує принцип коеволюції, який також лежить в основі IDG-EA. Тобто , наше рішення витрачає набагато менше часу на етапі аналізу та оцінки , аніж при випадковому групуванні.

Алгоритм отримав набагато вищі результати , аніж алгоритм IDG-EA , різниця в деяких випадках сягала 100% , що в свою чергу є хорошим результатом , та дає можливість вважати , що цей наш алгоритм кращий за це рішення.

Досліджено , що наше рішення є універсальним, для перевірки цього факту було введено 3 сценарії розповсюдження.Очікувалося , що алгоритм , в деяких випадках проявить себе гірше . Але результати показали , що ми отримуємо однаково позитивний результат при кожній із симуляцій.

Визначено , що наше рішення може використовуватися , як модернізаційний захід , для вже розгорнутої мережі , що було однією із ключових цілей розробки цього алгоритм , така можливість допоможе операторам мобільного зв'язку , суттєво економити ресурси при розвертанні нових стільників , оскільки можна буде використати принцип модернізації , а неповного заміщення , яке несе в собі великі витрати.

Було отримано результат який показує ,що запропонований алгоритм дає можливість мінімізувати кількість базових станцій , які потрібно розмістити , для покращення характеристик мережі , та задоволення критерію вмістимості. Що дає ще одну перевагу нашому рішенню.

Тобто , можна дійти до висновку , що головна мета дипломного проекту була досягнута і наші поставлені цілі були виконані . Запропонований алгоритм є кращим за рішення, що використовуються на даний момент.

ВИСНОВКИ

Проведено систематизований аналіз використання еволюційних алгоритмів в телекомунікаціях, а саме в сфері безпроводового зв'язку.

Досліджено відомі традиційні технічні рішення, які беруть за основу еволюційні алгоритми, та їх період модернізації під час їх розвитку.

Визначено головні недоліки традиційних еволюційних алгоритмів, на основі яких був сформований перелік задач даної роботи. Серед визначених недоліків особливої уваги заслуговують наступні проблеми:

- Довгий час потрібен для роботи алгоритмів;
- Неможливість або складність використання для великомасштабних мереж
- Малий приріст пропускної здатності в результаті роботи алгоритму
- Неможливість групування взаємодіючих (інтерферуючих) БС в один компонент.

Запропоновано ряд модернізацій до традиційної структури еволюційного алгоритму, які повинні були вирішити ряд виявлених недоліків. Серед впроваджених модифікацій слід виділити:

- Вирішення проблематичності використання для великомасштабних мереж за рахунок введення в алгоритм коеволюційних процесів.
- Модернізації механізму роботи оператора перехрещення.
- Можливість групування взаємодіючих базових станцій в одну групу.

Запропоновано новий еволюційних алгоритм , що відрізняється від інших рішень наступним:

- Використанням механізму коеволюції для групування базових станцій , який вирішує проблему використання часу на опрацювання
- Спрощеним алгоритмом групування , за рахунок можливості розміщення разом взаємодіючих елементів , який допомагає більш

ефективно згрупувати БС , для підвищення значення пропускну́ї задатності

- Механізмом перехрещення , що не змінює розмірність дитини (пращура) , який також несе в собі ціль підвищення задоволеності користувача.

Доведено, що запропонований алгоритм показує себе краще, ніж порівнювані з ним IDG-EA та RG-EA . Отримано, що запропонований алгоритм показує себе краще на 8-18% ніж алгоритм випадкового групування та 50-110% ніж IDG-EA, у всіх сценаріях та варіаціях впроваджених умов. Це доводить перевагу представленого рішення, та демонструє те, що мета даної роботи була досягнута.

Визначено, що досліджуваний алгоритм можна використовувати при вдосконаленні наявних мереж в умовах міста, саме в місцях де критично високе використання трафіку, та при розвертанні нових сегментів мережі. Слід зазначити, що представлений в даній роботі алгоритм можна використовувати , як основу для інших рішень, не тільки для мереж стандарту LTE .

Список використаних джерел

1. **Sherali HD, Pendyala CM, Rappaport TS.** Optimal location of transmitters for micro-cellular radio communication system design. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on. 1996 May; 14 (4):662–673. doi: 10.1109/49.490417
2. **Amaldi E, Capone A, Malucelli F.** Planning UMTS base station location: optimization models with power control and algorithms. Wireless Communications, IEEE Transactions on. 2003 Sept; 2(5):939– 952. doi: 10.1109/TWC.2003.817438
3. **Amaldi E, Capone A, Malucelli F, Signori F.** Optimization models and algorithms for downlink UMTS radio planning. In: Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC2003. 2003 IEEE. vol. 2; 2003. p. 827–831.
4. **Amaldi E, Capone A, Malucelli F.** Radio planning and coverage optimization of 3Gcellular networks. Wirel Netw. 2008 Aug; 14(4):435–447. doi: 10.1007/s11276-006-0729-3
5. **Kalvenes J, Kennington J, Olinick E.** Base station location and service assignments in W—CDMA net- works. INFORMS Journal on Computing. 2006 Aug; 18(3):366–376. doi: 10.1287/ijoc.1040.0129
6. **Abdel Khalek A, Al-Kanj L, Dawy Z, Turkiyyah G.** Optimization models and algorithms for joint uplink/ downlink UMTS radio network planning with SIR-based power control. Vehicular Technology, IEEE Transactions on. 2011 May; 60(4):1612–1625. doi: 10.1109/TVT.2011.2132745
7. **Luke S.** Essentials of Metaheuristics. Lulu, 2013, 242 p
8. **Dianati M., Song I., Treiber M.** An Introduction to Genetic Algorithms and Evolution Strategies. Technical report, University of Waterloo, Ontario, Canada, 2002, 11 p
9. **Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линияТелеком, 2006. 452 с.

10. **Демидова Л. А., Петрова Н. А.** Применение эволюционного подхода к задачам оптимизации параметров сложных технических систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 3 (45). С. 93-100.
11. **Скаков Е. С., Малыш В. Н.** Эволюционный алгоритм решения задачи размещения базовых станций // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 51. С. 46-52
12. **Li Z, Zhang XS, Wang RS, Liu H, Zhang S.** Discovering link communities in complex networks by an integer programming model and a genetic algorithm. PLoS ONE. 2013 Dec; 8(12):e83739.
13. **Weicker N, Szabo G, Weicker K, Widmayer P.** Evolutionary multiobjective optimization for base station transmitter placement with frequency assignment. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on. 2003 Apr; 7(2):189–203
14. **Ting CK, Lee CN, Chang HC, Wu JS.** Wireless heterogeneous transmitter placement using multiobjective variable-length genetic algorithm. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on. 2009 Aug; 39(4):945–958
15. **Deb K, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T.** A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on. 2002 Apr; 6(2):182–197
16. **Mukhopadhyay A, Maulik U, Bandyopadhyay S, Coello Coello CA.** A survey of multiobjective evolutionary algorithms for data mining: part I. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on. 2014 Feb; 18(1):4–19
17. **Das S, Suganthan PN.** Differential evolution: a survey of the state-of-the-art. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on. 2011 Feb; 15(1):4–31

18. **С.Д. ШТОВБА , С.Ю. ЕРМОЛАЕВ , В.Г. КАРТАШЕВСКИЙ**
РАЗМЕЩЕНИЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ БЕСПРОВОДНЫХ
ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МУРАВЬИНОГО
АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ
19. **Omidvar MN, Li X, Mei Y, Yao X.** Cooperative co-evolution with differential grouping for large scale optimization. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on.* 2014 Jun; 18(3):378–393
20. **Yang Z, Tang K, Yao X.** Large scale evolutionary optimization using cooperative coevolution. *Information Sciences.* 2008 Aug; 178(15):2985–2999
21. **Li X, Yao X.** Tackling high dimensional nonseparable optimization problems by cooperatively coevolving particle swarms. In: *Evolutionary Computation, 2009. CEC'09. IEEE Congress on; 2009.* p. 1546–1553
22. **Li X, Yao X.** Cooperatively coevolving particle swarms for large scale optimization. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on.* 2012 Apr; 16(2):210–224
23. **Guan X, Zhang X, Wei J, Hwang I, Zhu Y, Cai K.** A strategic conflict avoidance approach based on cooperative coevolutionary with the dynamic grouping strategy. *International Journal of Systems Science.* 2014 Dec; p. 1–14.
24. **Zhang X, Guan X, Hwang I, Cai K.** A hybrid distributed-centralized conflict resolution approach for multi-aircraft based on cooperative co-evolutionary. *Science China Information Sciences.* 2013 Mar; 56 (12):1–16.
25. **Liu Y, Yao X, Zhao Q, Higuchi T.** Scaling up fast evolutionary programming with cooperative coevolution. In: *Evolutionary Computation, 2001. Proceedings of the 2001 Congress on.* vol. 2; 2001. p. 1101-1108

26. **Yang Z, Tang K, Yao X.** Self-adaptive differential evolution with neighborhood search. In: Evolutionary Computation, 2008. CEC 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE Congresson; 2008. p. 1110–1116.
27. 3GPP. TR 36.931, Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); radio frequency (RF) requirements for LTE pico node B (release 11). 3rd Generation Partnership Project (3GPP); 2012
28. **Auer G, Giannini V, Godor I, Skillermark P, Olsson M, Imran MA,** et al. Cellular energy efficiency evaluation framework. In: Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd; 2011. p. 1–6
29. **Wasi Ahmad, Laxmi Dir, Bhanwar Singh .** Study Paper on HetNet: The LTE Perspective
30. **3GPP General LTE Overview,**
<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
31. **Seungseob Lee, SuKyoung Lee, Kyungsoo Kim, Yoon Hyuk Kim**
Base Station Placement Algorithm for Large-Scale LTE Heterogeneous Networks