

УДК 004.7:519.17:519.854

О. А. РЕВА, Ю. К. ДАВИДОВСЬКИЙ

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна***РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ
ДЛЯ ОТРИМАННЯ КВАЗИОДНОРІДНОЇ СТРУКТУРИ**

Предметом статті є проектування, створення та модернізація комп'ютерних мереж. Метою є створення методики, яка дозволить побудувати новий дизайн мережі на основі існуючого з використанням теорії графів та алгоритмів оптимізації. Вирішуються такі задачі: провести огляд темпів модернізації комп'ютерних мереж; проаналізувати ринок телекомунікаційних компаній, які пропонують створити дизайн мережі; знайти автоматизовані рішення цієї задачі; створити методику автоматизованої модернізації мережі, яка дозволить зменшити вплив людини на процес створення мережі; програмна реалізація такої методики в тестовому середовищі. Використані методи: теорія графів, алгоритми оптимізації, алгоритмічне моделювання. Отримані наступні результати: на підставі підготовленого аналізу та даних з таких джерел, як Cisco, Nokia, DataGroup та ін., було описано необхідність та важливість залучення фахівців та програмних рішень, які можуть створювати якісний дизайн мережі; були визначені критерії для опису мережі з точки зору мережі компанії-провайдера такі як: надійність, якість обслуговування та вартість проектування та реалізації мережі; мережа описується з використанням графів, та на основі теорії графів була обрана найбільш ефективна граф-мережа - топологія двухвалентного графа; під час створення нової методики використовувався вже застосований раніше підхід, але з одним важливим покращенням, яке дозволяє не створювати абсолютно нову мережу, щоб додати її структуру до існуючої, а модернізувати існуючу топологію мережі для підвищення економічності впровадження. Висновки. Наукова новизна отриманих результатів виглядає наступним чином: 1) мережі описуються як графи, які дозволять використовувати алгоритмічне моделювання для моделювання процесу передачі даних в майбутньому; 2) нова методика оптимізувала процес проектування мережі, використовуючи та розглядаючи ресурси, які вже використовуються мережею, а саме: маршрутизатори, комутатори та канали зв'язку. Надалі існує ідея покращити цю методику, додавши модуль моделювання мережі, який дозволить не тільки створити дизайн мережі, але і описати його переваги та недоліки.

Ключові слова: теорія графів, мережа передачі даних (МПД), топологія мережі, оптимізація топології, дувалентні МПД, однорідні МПД, модернізація структури МПД, трафік.

Вступ

Популярність інтернет телефонії, зумовила перехід до впровадження таких сервісів як відеоконференції. Це відкрило нові горизонти для розвитку сітьових технологій у вигляді «стрімінгових» (потоківих) сервісів, які дозволяють передавати відеозображення без втрат якості в режимі online на комп'ютери мільйонів глядачів одночасно. В свою чергу розвиток розподілених обчислень вимагає розвитку технологій передачі даних, особливо з точки зору апаратного забезпечення, що призвело до зростання швидкостей підключення до мережі інтернет від 10 Мб в секунду на початку 2000 років до 1 Гб каналів, які можуть бути підключені вже сьогодні для домашнього користування.

Нижче буде наведена статистика зростання кількості користувачів мережі інтернет, взята з сайту «Cabling. Installation & Maintenance» [1], яка спеціалізується на дротових МПД. Згідно з нею з початку тисячоліття, обсяг трафіку зріс у сотні раз, та продовжує зростати (рис. 1).

Як видно на рисунку, лише з 2001 року, коли обсяг трафіку сягнув 1 екзобайту (EхoByte), та до сьогодні, обсяг трафіку виріс приблизно в 150 разів, та продовжує зростати. Згідно за статистики компанії CISCO, до 2021 року обсяг трафіку сягне приблизно 700 екзобайтів на рік [2].

Для підтримки конкурентоздатності на ринку телекомунікаційних послуг, компанії мають постійно підвищувати якість послуг. Це може бути досягнуто шляхом збільшення покриття, тобто збільшення кількості вузлів та каналів зв'язку, або

шляхом оптимізації та часткової, або повної заміни існуючої топології мережі.

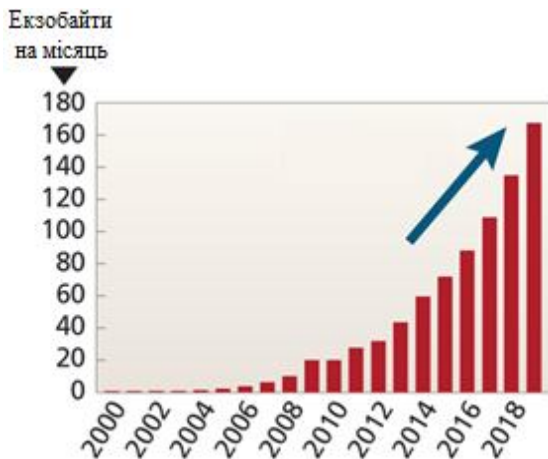


Рис. 1. Зростання обсягів інтернет трафіку у світі

В той час як сітвові конфігурації можуть бути змодельовані за допомогою таких програмних пакетів як Packet Tracer від компанії Cisco, вони не дають змоги змодельовати навантаження на мережу у залежності від кількості вхідного трафіку, а також не дають аналітичних порад щодо побудови мережі. Це призводить до необхідності створення інструменту, який міг би послідовно виконувати ці функції.

Метою цієї статті є відображення етапів створення нової методики та розробки алгоритмів для модернізації топології МПД.

1. Розгляд потенційно ймовірних структур МПД

Для того щоб можна було обґрунтовано вказати на оптимальність топології, яка будується, варто виділити загальні критерії оптимальності. У цій статті за головні критерії обираються вартість мережі, яка проектується, а також стабільність її роботи що є найважливішим показником якості надання послуг. Під стабільністю мається на увазі відсутність помилок при передачі, а також підтримка заявленої клієнту пропускної здатності мережі [3].

Варто розглянути ймовірні топології МПД, які могли б бути застосовані. Усього можна виділити чотири таких топології: однорідний граф, граф Керні, дувалентний граф, та граф-дерево. З точки зору описаних вище критеріїв можна описати ці топології наступним чином:

– повнозв'язний однорідний граф (рисунком 2) – є рішенням, яке надає найбільшу стабільність зв'язку, найбільшу швидкість обміну даними, та

найменшу ймовірність перевантажень. Але оскільки така мережа буде надлишковою для її реалізації доведеться залучити значні кошти, та ресурси, які не будуть використовуватися у повному обсязі.

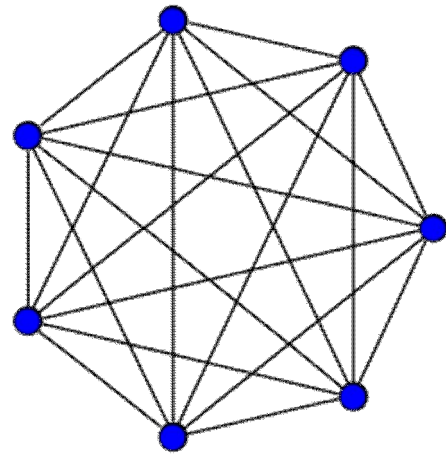


Рис. 2. Однорідний граф:

1 – точками позначені вузли, тобто комутатори та маршрутизатори МПД; 2 – ребра відповідають дротовим каналам зв'язку ймовірної МПД

– граф Керні (рис. 3) – є більш вигідним с точки зору використання ресурсів, оскільки очевидні надлишкові ребра не будуть побудовані, під такими ребрами маються на увазі ті ребра, які перетинають інші. Але дослідження багатьох спеціалістів [4,5] показали, що наскільки великою не була б «валентність» мережі, у більшості випадків для передачі даних використовуються не більше 2 маршрутів. А це означає, що навіть граф Керні не є максимально оптимальним з точки зору витрати коштів на побудову такої мережі і він потребує подальшої оптимізації.

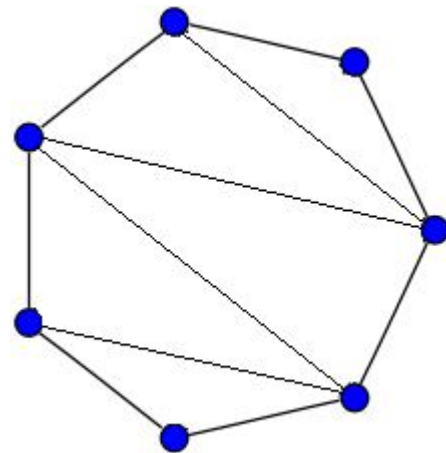


Рис. 3. Максимально насичений граф Керні

– дувалентний граф (рис. 4) – є найбільш наближеним до однорідного графу з точки зору стабільності роботи, але максимально використовує ресурси побудованої мережі. Оскільки він максимально утилізує пропускну здатність існуючих каналів зв'язку за рахунок оптимізації алгоритмів передачі даних на рівні протоколів тощо.

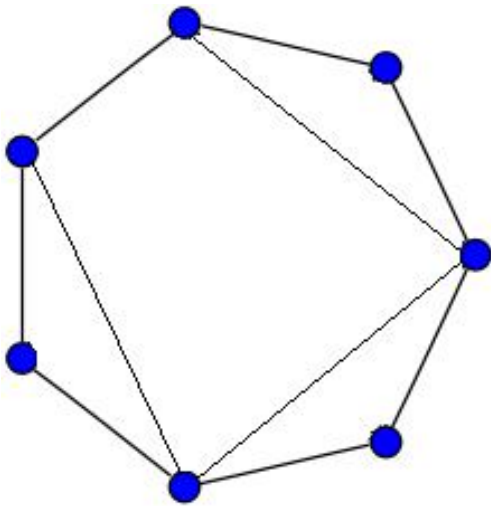


Рис. 4. Дувалентний граф з валентністю 3,4

– граф-дерево (рис. 5) – є найдешевшим рішенням при побудові МПД [6], але очевидно, що у такій топології деякі вузли використовуються набагато частіше інших, що призводить до перевантажень та помилок при передачі даних. Така мережа не може вважатися стабільною, тому така топологія майже не використовується у регіональних та глобальних мережах, а застосовується тільки у корпоративних мережах підприємств.

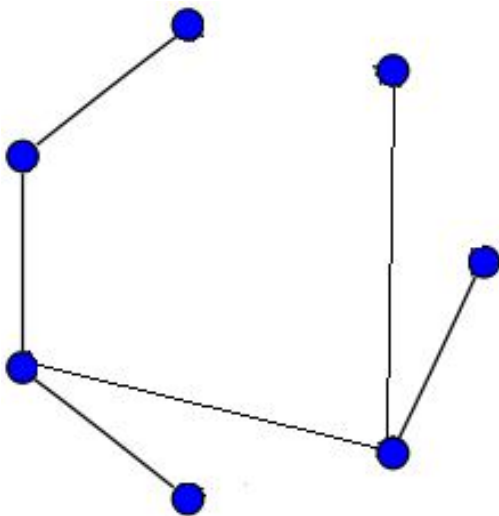


Рис. 5. Граф-дерево

Підсумувавши можна виділити дувалентний граф, як найбільш оптимальний з огляду на обидві обрані критерії.

2. Методика модернізації топології МПД у квазіоднорідну структуру

На основі інформації з відкритих джерел та статей [7] можна сформуванати власний погляд на методи контролю якості надання послуг комп'ютерними мережами, на основні задачі керування трафіком та на різноманітні підходи до формування системи керування трафіком, які б могли самоорганізуватися, та підтримувати свій стабільний стан, використовуючи методи протидії сільовим загрозам, перевантаженням та ін.

Для подальшого спрощення варто представити МПД у вигляді плоского графу, щоб мати змогу застосувати до неї методи системного аналізу абошо.

На сьогоднішній день вже була запропонована методика побудови максимально плоского графу та його оптимізації [7,8]. Ця методика буде використана у подальшому для створення плоского графу в розроблюваній методиці.

В процесі розробки була спроектована та розроблена методика, яка складається з трьох послідовних етапів модифікації топології МПД. Передбачається, що користувачем задані усі вершини (вузли/пристрої комутації) та ребра (канали передачі даних, у проєктованій системі маються на увазі дротові канали), які створюють граф, який вже не має бути змінений у процесі роботи алгоритму, тому що ці ресурси вже є наявними і для економії не мають бути видалені з топології, а мають бути враховані при побудові нової. Розглянемо ці етапи:

1. Побудова гранично плоского графу.

Для максимальної оптимізації мережі, спочатку потрібно наситити вже наявний граф новими ребрами, які б не пересікали одне одного. Для цього алгоритм потребує графу K , який містить наявну топологію з усіма вершинами графу, їх координати, та таблицю суміжності, яка позначає зв'язки між вершинами (таблиця 1). Кількість вузлів позначимо n , ребер – v .

Таблиця 1
Матриця пропускових здатностей

	Router1	Route2	Router3
Router1	-	100Mb/s	1000Mb/s
Router2	100Mb/s	-	
Router3	100Mb/s		-

Алгоритм передбачає перебір усіх вершин, починаючи з першої та перевірка можливості додання нового ребра, яке буде задовольняти наступній умові: нове ребро не може перетинати вже існуючі. Після того як перевірена перша вершина та були додані усі можливі ребра, алгоритм розглядає наступну вершину. Але тепер з розглядання виключається зв'язок 1 вершини з 2, та розгляд починається одразу з 3 вершини. Так алгоритм відпрацьовує до поки не розгляне вершину з індексом n , та усі можливі ребра не будуть додані.

У результаті маємо наступні вихідні дані: граф G – отримана топологія максимально насичена ребрами, які не перетинають одне одного. Схематично цей етап відображений на рисунку 6.

2. Оптимізація гранично плоского графу.

Для того щоб оптимізувати гранично насичений граф, ребра якого не перетинаються одне з одним застосовується наступний алгоритм.

Вхідними даними є отриманий на попередньому етапі граф G , який має два типи ребер:

- відмічені (усі ребра з графу K) – які не можна змінювати;
- невідмічені (ребра додані на попередньому етапі) – за рахунок яких буде виконуватися оптимізація.

Алгоритм послідовно розглядає усі ребра графу G , починаючи з першого. Позначимо $v1$ та $v2$ вузли ребра $v1v2$, у такому випадку алгоритм шукає вузли, які б мали спільне ребро з $v1$, або з $v2$. Коли знайдено щонайменше два таких вузли $v3$ та $v4$, виконується перевірка чи є нове ребро $v3v4$ коротшим за $v1v2$, у випадку якщо так і є, та ребро $v1v2$ не є відміченим, ребро $v1v2$ видаляється, а замість нього створюється ребро $v3v4$. Цей процес повторюється до поки в графі G не буде неоптимальних ребер.

У результаті роботи алгоритму ми отримаємо граф O – який є максимально насиченим ребрами, ребра якого не перетинаються одне з одним, та є найкоротшими.

3. Приведення топології МПД до максимально дувалентної.

Для виконання цього можна застосувати один з трьох алгоритмів:

- оптимізація по кількості зв'язків;
- оптимізація по вартості ребер;
- оптимізація у довільному порядку з використанням стохастичних алгоритмів (наприклад метод Монте-Карло).

Кожен з цих алгоритмів у якості вхідних даних використовує граф O , а також обрані користувачем максимальні «валентності» МПД ($p(2,3)$ або $p(3,4)$).

3.1. Алгоритм оптимізації по кількості зв'язків сортує усі вершини за кількістю ребер які поєднані з вказаною вершиною, та видаляє ребра у цієї вершини у випадку якщо вони не є відміченими, а також, якщо валентність вершини є більшою ніж задана користувачем. Після чого алгоритм переходить до наступної вершини і так до поки в графі не залишиться вершин, які не задовільняють умові максимальної кількості валентностей. Варто зазначити, що ребра в одного вузла видаляються випадковим чином, незважаючи на їх вагу.

3.2. Алгоритм оптимізація по вартості ребер сортує усі ребра графу O за їх вартостями, та починає розглядання з найбільш вагомого (тобто найменш оптимального) ребра. Якщо ребро не є відміченим, а також його вершини мають валентність більшу за зазначену користувачем, ребро видаляється. Алгоритм виконується до поки в графі не залишиться вершин, які не задовільняють умові максимальної кількості валентностей.

3.3. Алгоритм оптимізації у довільному порядку базується на двох попередніх алгоритмах, але сортує ребра та вершини у довільному порядку, на основі якогось зі стохастичних алгоритмів.

Запропоновані алгоритми у сумі дозволяють створити первинну структуру МПД, проаналізувавши яку стає можливим побудувати найбільш ефективну МПД без залучення надлишкових ресурсів, та зі збереженням стабільності роботи мережі.

3. Програмна реалізація методики

Програмний додаток був реалізований за допомогою Windows Forms та мови C#.

Нижче наведена тестова версія інтерфейсу програмного додатку у якій розглянуте створення тестового проекту з модернізації мережі. На рисунку 6 відображене вікно для введення даних про існуючу мережу. На рисунку 7 відображена схема тестової мережі, яка буде модернізована.

Рисунок 8 відображає якою буде мережа після етапу максимального насичення, перед її оптимізацією. Новообрані зв'язки позначені зеленим кольором.

Рисунок 9 відображає остаточну модель нової мережі.

Form1

Draw Your Network

StartPainting ID

Create Node

Delete Node

Add Connection From To

Delete Connection

Begin Saturation

Node optimisation

Connection optimisation

	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4	Node 5
▶	1	1		1	
	1		1		
		1			1
	1				
			1		
					1
					1
				1	

Рис. 6. Форма для введення даних

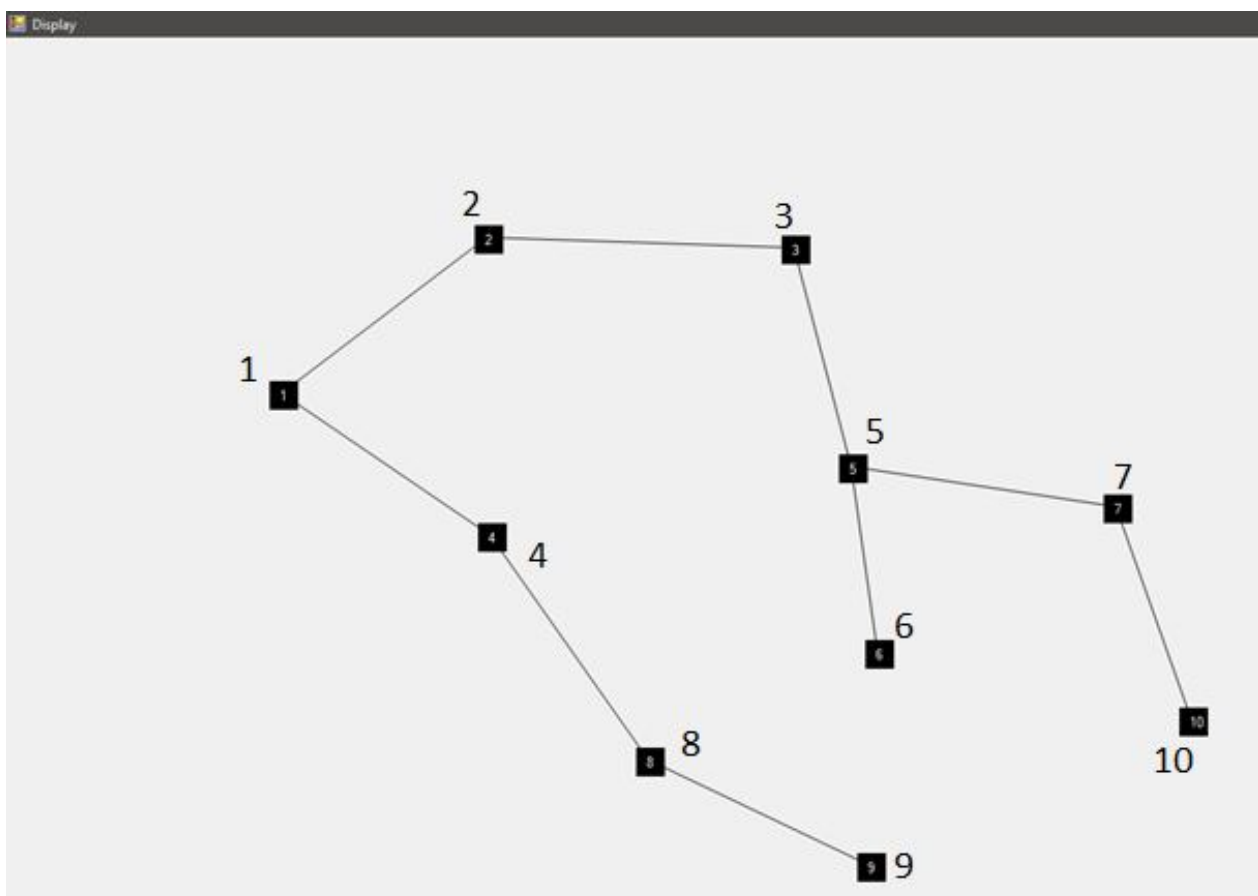


Рис. 7. Форма для графічного відображення мережі. Стартова мережа

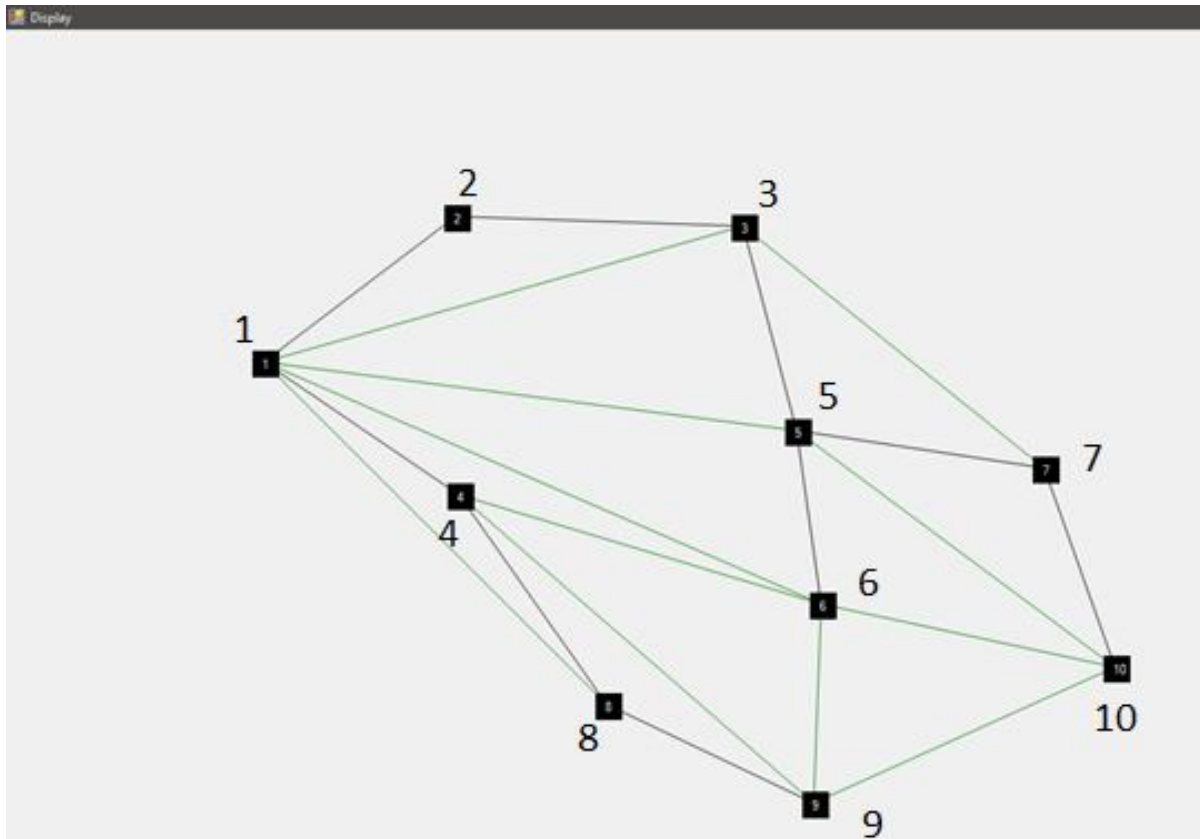


Рис. 8. Форма для графічного відображення мережі. Насичена мережа

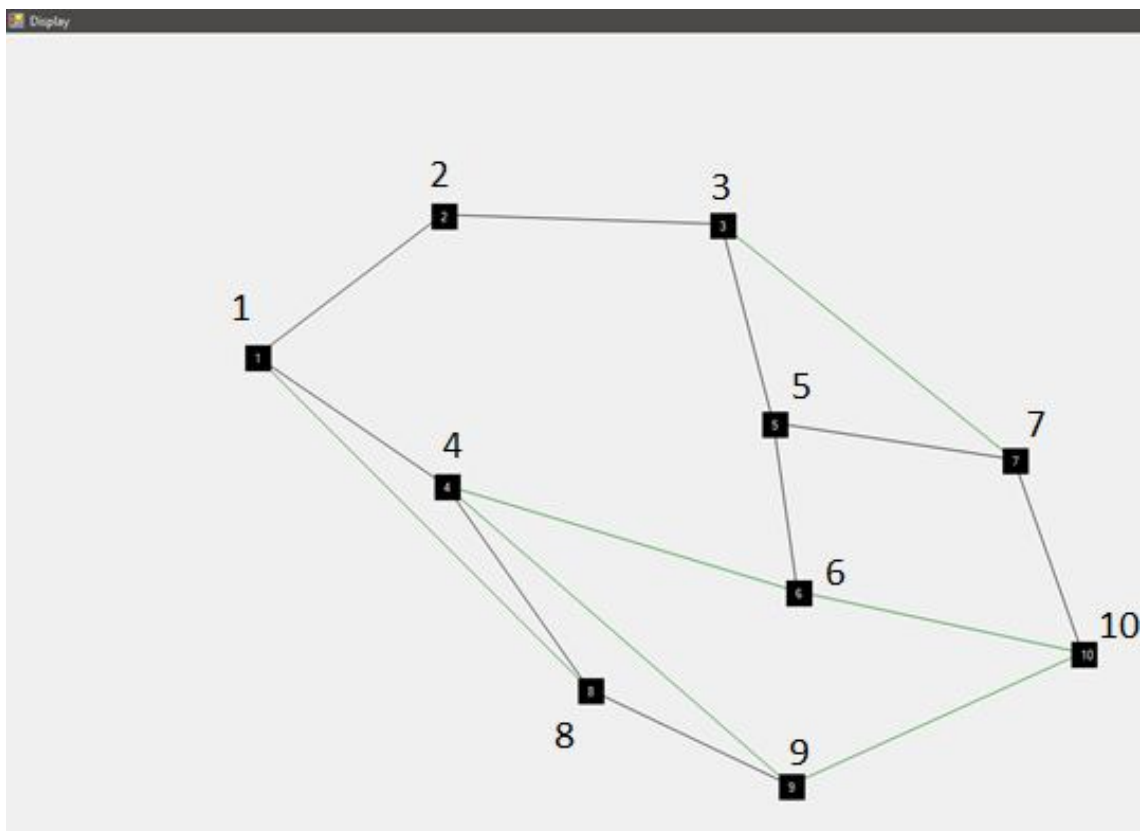


Рис. 9. Форма для графічного відображення мережі. Оптимізована мережа

Висновки

Ця стаття надає розгляд стану індустрії інтернет телекомунікацій на сьогоднішній день, а також проблем, які виникають через безперервний розвиток та збільшення кількості мереж. Також проаналізована зміна самих сервісів, які тягнуть за собою необхідність зміни технічного забезпечення МПД.

В процесі дослідження проблематики створення та модернізації існуючих МПД, була запропонована нова методика оптимізації та перебудови структури мережі. Ця методика складається з декількох алгоритмів, які дозволяють перетворити існуючу структуру МПД у квазіоднорідну структуру, що значно підвищить її ефективність за рахунок збереження коштів на надлишкові канали зв'язку, та дозволить використати вже наявні ресурси.

Сукупність цих алгоритмів була реалізована програмно, для підтвердження адекватності отриманих результатів моделювання. Але варто зазначити, що використання цієї методики обмежено, оскільки вона не враховує конкретні специфікації обладнання (такі як, протоколи передачі, втрати при передачі, режими передачі даних, та ін), а лише географічні, топологічні особливості місцевості з мінімальним урахування потужностей каналів зв'язку.

У подальшому планується інтеграція цієї методики з іншими техніками моделювання для побудови структур МПД для збільшення якості отриманих результатів, а також для розширення області застосування цієї методики.

Література

1. Mazzaresse, D. Impact of increased bandwidth on the fiber network. July 1, 2016 [Електронний ресурс] / David Mazzaresse // *Cabling Installation & Maintenance*. – Режим доступу: <http://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-24/issue-7/features/data-center/impact-of-increased-bandwidth-on-the-fiber-network.html> – 21.12.2017.
2. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021 [Електронний ресурс] / Cisco Mobile VNI // CISCO. – Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> – 18.12.2017.
3. Creating Cable 2020. Nokia. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://onestore.nokia.com/>

asset/201171/Nokia_Cable_2020_eBook_EN.pdf – 09.01.2018.

4. Akhter, J. Traffic Modelling of Low Dense Femtocellular Network [Text] / J. Akhter, M. R. Amin // 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering. – 2016. – P. 74 – 77.
5. Luqman, G. Modelling and Simulation of Load Balancing in Computer Network [Text] / G. Luqman, A. Luqman // *American Journal of Engineering Research (AJER)*. – 2016. – Vol. 5, Issue 1. – P. 111 – 117.
6. Артамонов, Г. Т. Топология регулярных вычислительных сетей и сред [Текст] / Г. Т. Артамонов. – Москва : Радио и связь, 1985. – 192 с.
7. Рева, А. А. Генерация предельно плоского графа минимального веса на основе взвешенного неориентированного графа Керни [Текст] / А. А. Рева, А. Б. Некрасов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – № 3 (11). – С. 79 – 82.
8. Некрасов, А. Б. Оптимизация алгоритма генерации предельно плоского графа минимального веса [Текст] / А. Б. Некрасов // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2004. – № 4 (8) – С. 71 – 74.

References

1. Mazzaresse, D. *Impact of increased bandwidth on the fiber network*. Available at: <http://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-24/issue-7/features/data-center/impact-of-increased-bandwidth-on-the-fiber-network.html> (accessed 21.12.2017).
2. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update*. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> (accessed 18.12.2017).
3. *Creating Cable 2020*. Available at: https://onestore.nokia.com/asset/201171/Nokia_Cable_2020_eBook_EN.pdf (accessed 09.01.2018).
4. Akhter, J. Amin, M. R. Traffic Modelling of Low Dense Femtocellular Network. *9th International Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2016, pp. 74 – 77.
5. Luqman, G. Luqman, A. Modelling and Simulation of Load Balancing in Computer Network. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2016, vol. 5, issue 1, pp. 111 – 117.
6. Artamonov, G. T. *Topologija reguljarnyh vychislitel'nyh setej i sred* [Topology of regular computer networks and environments]. Moscow, Radio i svjaz' Publ., 1985. 192 p.

7. Reva, A. A., Nekrasov, A. B. Generacija predel'no ploskogo grafa minimal'nogo vesa na osnove vzveshennogo neorientirovannogo grafa Kerni [Generating an extremely flat graph of minimal weight on the basis of a weighted undirected graph Kerney]. *Aviacionno-kosmichna tehnika i tehnologija – Aerospace technic and technology*, 2004, no. 3 (11), pp. 79 – 82.

8. Nekrasov, A. B. Optimizacija algoritma generacii predel'no ploskogo grafa minimal'nogo vesa [Optimization of the algorithm for generating an extremely flat graph of minimum weight]. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi –Radioelectronic and computer systems*, 2004, no. 4 (8), pp. 71 – 74.

Поступила в редакцію 28.04.2018, рассмотрена на редколлегии 16.05.2018

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СЕТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КВАЗИОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ

A. A. Reva, Yu. K. Davydovskiy

Предметом статьи является проектирование, создание и модернизация компьютерных сетей. Целью является создание методики, которая позволит построить новый дизайн сети на основе существующего с использованием теории графов и алгоритмов оптимизации. Задачи: провести обзор темпов модернизации компьютерных сетей; проанализировать рынок телекоммуникационных компаний, которые предлагают создать дизайн сети; найти автоматизированные решения этой задачи; создать методику автоматизированной модернизации сети, которая позволит уменьшить влияние человека на процесс создания сети; программно реализовать такую методику в тестовой среде. Используемые методы: теория графов, алгоритмы оптимизации, алгоритмическое моделирование. Получены следующие результаты: на основании подготовленного анализа и данных из таких источников, как Cisco, Nokia, DataGroup и др., была описана необходимость и важность привлечения специалистов и программных решений, которые могут создавать качественный дизайн сети; были определены критерии для описания сети с точки зрения сети компании-провайдера такие как: надежность, качество обслуживания и стоимость проектирования и реализации сети; сеть описывается с использованием графов, и на основе теории графов была выбрана наиболее эффективная граф-сеть - топология двухвалентного графа; при создании новой методики использовался уже примененный ранее подход, но с одним важным улучшением, которое позволяет не создавать совершенно новую сеть, чтобы добавить ее структуру к существующей, а модернизировать существующую топологию сети для экономии средств при реализации. Выводы. Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: 1) сети описываются как графы, которые позволяют использовать алгоритмическое моделирование для моделирования процесса передачи данных в будущем 2) новая методика оптимизировала процесс проектирования, используя и рассматривая ресурсы, которые уже используются сетью, а именно: маршрутизаторы, коммутаторы и каналы связи. В дальнейшем существует идея улучшить эту методику, добавив модуль моделирования сети, который позволит не только создать дизайн сети, но и описать его преимущества и недостатки.

Ключевые слова: теория графов, сеть передачи данных (СПД), топология сети, оптимизация топологии, дувалентные СПД, однородные СПД, модернизация структуры СПД, трафик.

METHOD OF THE NETWORK TOPOLOGY TRANSFORMATION TO QUASIHOMOGENEOUS STRUCTURE

A. A. Reva, Y. K. Davydovskiy

The subject matters of the article are design, creation and modernization of the computer networks. The goal is to create algorithm which will allow to build new network design based on an existing one using graph theory and optimization algorithms. The tasks to be solved are: to make a review of the rates of modernization of the computer networks; to analyze the market of telecom companies that offer to create network design; to seek for the automated solutions of this task; to create a method of automated network modernization which allow to decrease human influence on the network creation process; to create software implementation of such method on test environment. The methods used are: graph theory, optimization algorithms, algorithmic modelling. The following results were obtained: based on the prepared analysis and data from such sources as Cisco, Nokia, DataGroup etc. were described the need and importance of the specialists and solutions which can create high-quality network design; were noted the criteria to describe the network from the point of view of a network-provider company like

reliability, quality of service and cost of network design and implementation; the network was described using graphs and based on the graph theory was selected the most efficient graph-network – divalent graph topology; during the creation of the new method was used common approach but with one important improvement which allows not to build a completely new network to add its structure to the existing one but to modernize an existing network topology to increase cost-efficiency of the design. Conclusions. The scientific novelty of the results obtained is as follows: 1) the networks were described as graphs that should allow to use algorithmic modelling to the process of data transfer through the network in the future; 2) new method has optimized the process of the network design by using and considering the resources that are already in use by network provides such as routers, switches and communication channels. In the future there is an idea to improve this method by adding a module of network modelling which will allow not only to create network design but also to describe its advantages and disadvantages.

Keywords: graph theory, data transmission network (DTN), network topology, optimization of topology, divalent DTN, homogeneous DTN, modernization of DTN structure, traffic.

Рева Олександр Анатолійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків., Україна, email: docentreva@gmail.com.

Давидовський Юрій Костянтинович – аспірант кафедри інформаційних управляючих систем Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, email: davidovsky2350@gmail.com.

Reva Oleksandr – PhD, Assistant Professor of the Department of Information Control Systems, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: docentreva@gmail.com.

Davydovskyi Yurii – PhD student, Department of Information Control Systems, National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: davidovsky2350@gmail.com.