

К.М. Обельовська, Львів
Р.Р. Столярчук, Львів
А.В. Дорошенко, Львів
Н.В. Попович, Львів

ВИБІР ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ ТА ПРОПУСКНИХ ЗДАТНОСТЕЙ ЇЇ КАНАЛІВ ПРИ ОБМЕЖЕННЯХ НА МОЖЛИВІСТЬ ІСНУВАННЯ ДЕЯКИХ КАНАЛІВ

Abstract. Classical Gomory–Hu algorithm allows finding the network topology and bandwidth of its channels at the given input flows, which are optimized by the criterion of the minimum bandwidth of the channels. The paper proposes a modified Gomori–Hu algorithm, which takes into account the limitations of the inability to include some channels in the resulting topology.

Актуальність

Телекомунікаційні мережі – це великі і складні системи, характеристики яких залежать від багатьох факторів, серед яких особливо важливу роль відіграє їхня топологія. Своєю чергою, на вибір топології телекомунікаційних мереж впливають багато критеріїв, серед яких пропускна спроможність каналів зв'язку, надійність, відстань, затримка, вартість, продуктивність вузлів комутації, алгоритми обміну інформацією, методи комутації. Сьогодні не існує математичного рішення багатокритеріальної оптимізації топології комп'ютерних мереж. Одне з можливих рішень передбачає вибір найважливіших для замовника критеріїв, оптимізацію топології за одним з них або кількома, створення імітаційної моделі мережі та перевірку на цій моделі відповідності щодо вимог інших критеріїв. Якщо топологія мережі не забезпечує виконання поставлених вимог до інших критеріїв корегують її, використовуючи метод експертних оцінок.

Постановка задачі

Проектуванню топологій мереж різних типів присвячено багато робіт, аналіз та систематизація різних підходів до вибору топології телекомунікаційних мереж наведені, наприклад, в роботах [1–3].

Принципи топологічного проектування Гоморі–Ху описано в [3, 4], в [5] алгоритм Гоморі–Ху разом із іншими алгоритмами імплементований в імітаційну модель. Гоморі та Ху запропонували алгоритм, за яким можна здійснювати синтез топології мережі та вибирати пропускні здатності її каналів за критерієм мінімальної пропускної здатності. Мережа, оптимізована за цим алгоритмом, дозволяє передати заданий максимальний потік, використовуючи мінімально можливу пропускну здатність. Алгоритм Гоморі–Ху не є орієнтованим на певну технологію транспортування даних. Проте пропускні здатності каналів мережі необхідно вибирати відповідно до вимог

використовуваної технології передавання. При адаптації оптимальної топології для використання її з конкретними технологіями доводиться використовувати канали з надлишковою пропускнуою здатністю. Для зменшення цієї надлишковості в [6, 7] описано модифіковані алгоритми, орієнтовані відповідно на технології транспортування SDH та DWDM. Крім того, в цих роботах описано і класичний алгоритм Гоморі–Ху.

Метою роботи є розробити алгоритм оптимізації топології з мінімізацією надлишкової пропускнуої здатності для випадків, коли недоступна фізична реалізація деяких каналів, що входять до результуючої топології, оптимізованої за алгоритмом Гоморі–Ху. Актуальність такої постановки задачі підтверджується високим ризиком навмисного пошкодження магістральних ліній. Так, наприклад, в лютому 2020 року впливова британська газета “The Times” повідомила, що спецслужби зафіксували підводників на дні океану поруч з волоконно-оптичними кабелями, по яких передають інтернет-трафік між Америкою, Британією та Європою, і вважає їх агентами російської розвідки [8]. Відповідно до прийнятих у Європі у 2018 році “Загальних положень про захист даних” (General Data Protection Regulation, GDPR), необхідно здійснювати відповідні технічні та організаційні заходи для забезпечення потрібного рівня безпеки. На нашу думку, найкращим рішенням для забезпечення цих вимог під час розроблення топології магістральної мережі є невикористання в мережі небезпечних ліній, наприклад, тих, що розташовані у військовій зоні. Розроблений нами алгоритм дає змогу уникати використання небезпечних каналів, хоча ціною такого рішення є збільшення потрібної пропускнуої здатності.

Розв’язання задачі

Для вибору топології мережі та пропускнух здатностей її каналів за критерієм мінімальної пропускнуої здатності у випадку можливих обмежень на існування певних каналів з потрібними пропускнуми здатностями нами запропоновано модифікацію алгоритму Гоморі–Ху.

Вхідними даними класичного алгоритму є сукупність вузлів та інтенсивності потоків, які треба між ними забезпечити. Алгоритм передбачає представлення цих даних у вигляді неорієнтованого зваженого графу, ребра якого зв’язують вершини, обмін між якими треба забезпечити. Ваги ребер відповідають потокам, що мають бути передані. Додатковими вхідними даними модифікованого алгоритму є перелік заборонених каналів.

Класичний алгоритм передбачає здійснення за певними правилами розбиття вхідного графу на сукупність графів, кожен з яких відображає певну підмережу. Всі підмережі, крім останньої, яка може бути сегментом, що зв’язує два вузли, є кільцевими підмережами з однаковим значенням ваги кожного ребра.

Ідея модифікації алгоритму полягає в тому, що при формуванні кожної кільцевої підмережі здійснюється перевірка, чи новий канал, який треба

ввести в кільце, не міститься в матриці заборонених каналів. Якщо його в матриці нема, робота алгоритму продовжується відповідно до класичного алгоритму Гоморі–Ху. Інакше, ми пропонуємо використати на цьому кроці алгоритму топологію попереднього кільця. Заборонений канал не може входити до першої кільцевої підмережі.

Модифікований алгоритм

Модифікований алгоритм виглядає так.

1. Представлення вхідних потоків у вигляді зваженого ненапрявленого графу A , ваги ребер якого відповідають інтенсивностям потоків. Формування матриці заборонених каналів.
2. Знаходження мінімальної ваги ребер графу A - $Wmin$.
3. Декомпозиція графу A на:
 - кільцевий граф SN_l , який включає всі вузли графу A і не включає в себе заборонених каналів, та присвоєння кожному ребру кільця ваги $Wmin/2$;
 - граф B , який отримують шляхом віднімання значення $Wmin$ від усіх ваг ребер графу A , вага яких більша за нуль.
4. Якщо кількість ребер у графі B дорівнює одиниці, то переходимо до кроку 10, інакше приймаємо $A = B$.
5. Формування кільцевого графу SN_k , який містить усі вузли графу A , де k - номер циклу, що починається з 2-х.
6. Порівняння кільцевих графів SN_k і SN_{k-1} щодо виявлення нового ребра. Якщо нове ребро не з'явилося, перехід на крок 7, інакше перевірка, чи нове ребро заборонено відповідно до матриці заборонених каналів. Якщо нове ребро заборонено, $SN_k = SN_{k-1}$.
7. Знаходження мінімальної ваги ребер графу A - $Wmin$.
8. Декомпозиція графу A на:
 - кільцевий граф SN_k та присвоєння кожному ребру кільця ваги $Wmin/2$;
 - граф B , який отримують відніманням значення $Wmin$ від усіх ваг ребер графу A , вага яких більша за нуль.
9. Якщо кількість ребер у графі B більша за одиницю, приймаємо $A = B$ і переходимо до кроку 5.
10. Об'єднання всіх графів SN_k та графу B .

Графічна ілюстрація модифікованого алгоритму

Запропонований підхід проілюстровано на прикладі реалізації модифікованого алгоритму. Вхідними даними прикладу є інтенсивності потоків a_{ij} між i -м та j -м вузлами мережі: $a_{12} = 50$ Тб/с, $a_{23} = 30$ Тб/с, $a_{26} = 100$ Тб/с, $a_{34} = 40$ Тб/с, $a_{63} = 200$ Тб/с, $a_{45} = 10$ Тб/с, $a_{46} = 40$ Тб/с. Забороненим каналом є канал між четвертим та шостим вузлами.

На рисунку 1 показано процес та результат оптимізації на основі модифікованого алгоритму Гоморі–Ху.

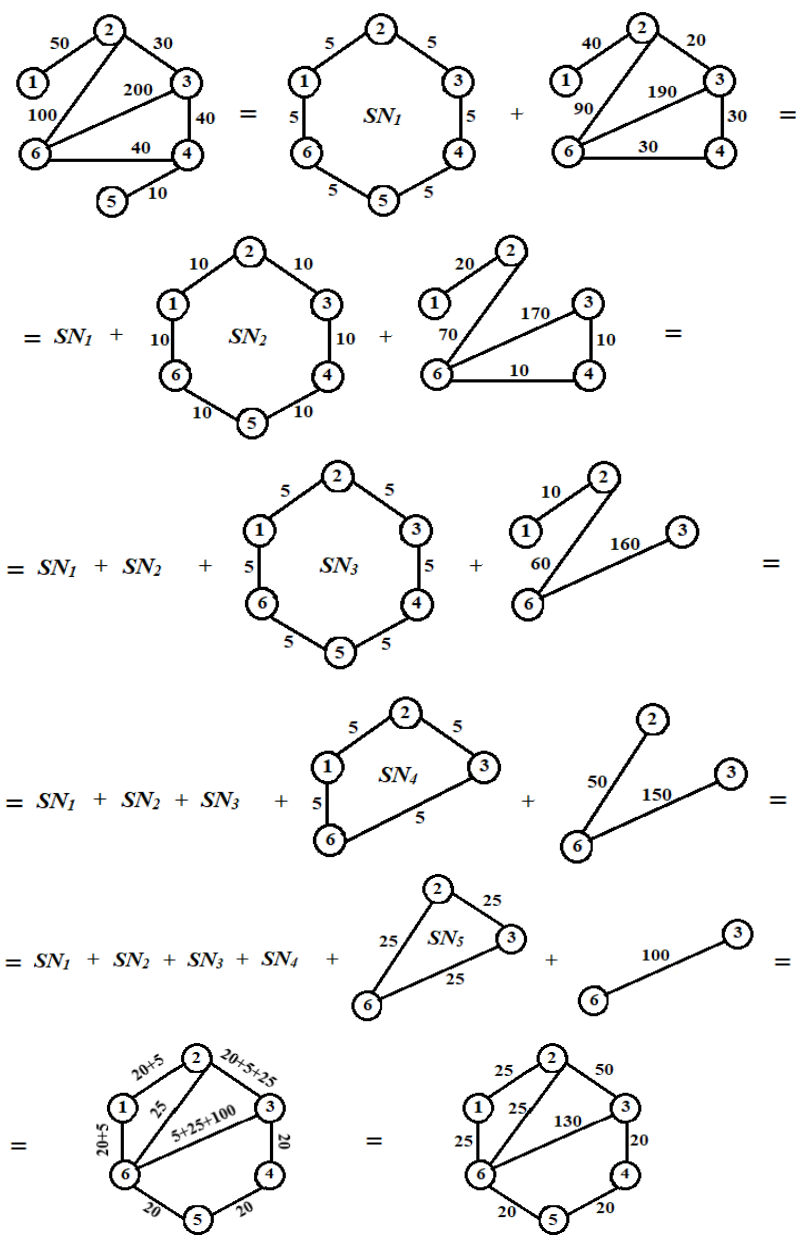


Рис. 1. Ілюстрація результатів, отриманих за модифікованим алгоритмом

Оптимізована мережа повинна забезпечити передавання потоку максимальної інтенсивності, при цьому в ній не повинно залишатись вільних

каналних ресурсів. В нашому випадку максимальним є потік a_{63} з інтенсивністю 200 Тб/с. У отриманій мережі цей потік можна передати так:

$$a_{6123} \Rightarrow 25 \text{ Тб/с,}$$

$$a_{623} \Rightarrow 25 \text{ Тб/с,}$$

$$a_{63} \Rightarrow 130 \text{ Тб/с,}$$

$$a_{6543} \Rightarrow 20 \text{ Тб/с.}$$

Сума цих потоків – 200 Тб/с. Тобто, оптимізована мережа здатна передати максимальний потік і всі ресурси мережі є використаними. При цьому зв'язок між вузлами 4 та 6, який за вхідними умовами був заборонений, у результуючій топології не задіяно.

Висновки

Запропонований алгоритм дає змогу знайти топологію мережі та пропускну здатність її каналів, які забезпечать передавання заданих вхідних потоків, використовуючи при цьому мінімально можливу пропускну здатність.

Цю роботу здійснено в межах програми Erasmus + Жан Моне Модуль № 611692-EPP-1-2019-1-UA-EPPJMO-MODULE «Захист персональних даних в ЄС».

1. Nedić, A. Olshevsky and M. G. Rabbat, "Network Topology and Communication-Computation Tradeoffs in Decentralized Optimization," in Proceedings of the IEEE, vol. 106, no. 5, pp. 953-976, May 2018.
2. Kasprzak, A.: Exact and Approximate Algorithms for Topological Design of Wide Area Networks with Non-simultaneous Single Commodity Flows. In: Sliot, P.M.A. et al. (eds.): ICCS 2003, LNCS, vol. 2660, pp. 799-808. Springer, Heidelberg (2003).
3. Larsson, C.: Design of Modern Communication Networks. Methods and Applications. Elsevier Ltd (2014).
4. Gomory, R. E., Hu, T. C.: Multi-terminal network flows. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics 9(4), pp. 551–570 (1961).
5. Tapolcai J. Routing algorithms in survivable telecommunication networks. PhD Thesis Summary, Budapest, Hungary, (2004).
6. Обельовська К., Грицуняк Н., Сагайдак С. Модифікований алгоритм Гоморі –Ху для оптимізації мереж, основаних на технології SDH // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка” „Комп’ютерні науки та інформаційні технології”, – 2011. № 694. – С. 401-406.
7. Auzinger, W., Obelovska, K., Stolyarchuk, R.: A Modified Gomory-Hu Algorithm with DWDM-Oriented Technology. In: Lecture Notes in Computer Science, LNCS 11958: 'Large-Scale Scientific Computing', I.Lirkov, S.Margenov (Eds.), pp. 547- 554, Springer (2020).
8. Mooney, J. Russian agents plunge to new ocean depths in Ireland to crack transatlantic cables. The Times, Sunday February 16, 2020. <https://www.thetimes.co.uk/article/russian-agents-plunge-to-new-ocean-depths-in-ireland-to-crack-transatlantic-cables-fnqsmgncz>

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3859685>

Поступила 7.10.2019р.