

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА
АКАДЕМІЯ»

Кафедра математики факультету інформатики

**ДИНАМІЧНА АЛЬТЕРНАТИВНА МАРШРУТИЗАЦІЯ -
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОВЕДІНКА**
Курсова робота за спеціальністю “Прикладна математика”

Керівник курсової роботи

канд. фіз.-мат. наук,

старший викладач

Чорней Р. К.

(підпис)

« ____ » _____ 2021р.

Виконав студент

3-го року навчання

Демченко Р. О.

« ____ » _____ 2021р.

Київ - 2021

Тема: Динамічна та альтернативна маршрутизація - моделювання та поведінка

Календарний план виконання роботи:

№ п/п	Назва етапу курсової роботи	Термін виконання етапу	Примітка
1.	Отримання завдання на курсову роботу.	24.10.2020	
2	Отримання літератури від наукового керівника.	02.03.2021	
3.	Огляд літератури за темою роботи.	15.03.2021	
4.	Аналіз літератури за темою роботи.	26.03.2021	
5.	Дослідження результатів отриманих в літературі.	10.04.2021	
6.	Оформлення курсової роботи.	14.05.2021	
7.	Створення презентації до курсової роботи.	16.05.2021	
8.	Захист курсової роботи.	20.05.2021	

Зміст

1	Вступ	4
1.1	Актуальність	4
1.2	Мета, завдання дослідження	5
2	Динамічна альтернативна маршрутизація	6
2.1	Схема DAR (Dynamic Alternative Routing)	6
2.2	Інші схеми маршрутизації	8
2.3	Резервування магістралі (Trunk reservation)	9
2.4	Липуча маршрутизація (Sticky routing)	11
2.5	Обмеження продуктивності	12
2.6	Моделювання DAR	14
2.7	Розширення DAR	16
3	Висновки	18
4	Список літератури	19

1 Вступ

1.1 Актуальність

З розвитком телекомунікаційних мереж значно зросла і необхідність використання схем, що можуть динамічно контролювати маршрутизацію викликів всередині мережі. Такі схеми ефективніше використовують вільну пропускну спроможність, надаючи гнучкість та надійність мережі.

Динамічна альтернативна маршрутизація, або ж Dynamic Alternative Routing (DAR) - це проста, але ефективна схема динамічної маршрутизації. Була винайдена у British Telecom у 1996 році. Вона покращує пропускну здатність мережі, використовуючи не велику кількість інформації. Ступінь її використання складно переоцінити, тому як будь-яка повнозв'язна, невелика телефонна мережа для продуктивної роботи немає інших варіантів динамічних маршрутизацій, окрім як DAR.

1.2 Мета, завдання дослідження

Вияснити поведінку динамічної альтернативної маршрутизації, чим така поведінка обумовлена та змодельовати її.

2 Динамічна альтернативна маршрутизація

2.1 Схеми DAR (Dynamic Alternative Routing)

Позначення: протягом всієї курсової роботи використовуються терміни “зв’язок” - найчастіше для позначення телефонного зв’язку між двома вузлами, та “виклик (i, j)” - спроба встановити зв’язок між вузлами i та j . Під вузлами можна розуміти, наприклад, телефонні станції, Інтернет-АТС, та будь-які канали зв’язку що використовують телефонну лінію. З будь-якої кількості таких вузлів утворюється мережа. У мережі для позначення тимчасового вузла, через котрий можливо буде проводити альтернативний маршрут (пояснення буде далі) використовується термін “тандем”.

В загальному вигляді динамічна альтернативна маршрутизація - це спосіб вибрати тандем, при необхідності. А алгоритм динамічної альтернативної маршрутизації виглядає наступним чином: Якщо прямий маршрут R_1 між вузлами i та j недоступний, то випадковим чином вибирається тандем k , і використовується до тих пір, поки він буде доступним (наприклад, поки маршрут не переповниться, або не вийде з ладу). Тепер, початковий вузол (i), тандем (k) та кінцевий вузол (j) (або вузол призначення) формують альтернативний маршрут R_2 . Якщо тандем k вийде з ладу, вибирається новий тандем серед переліку вільних вузлів.

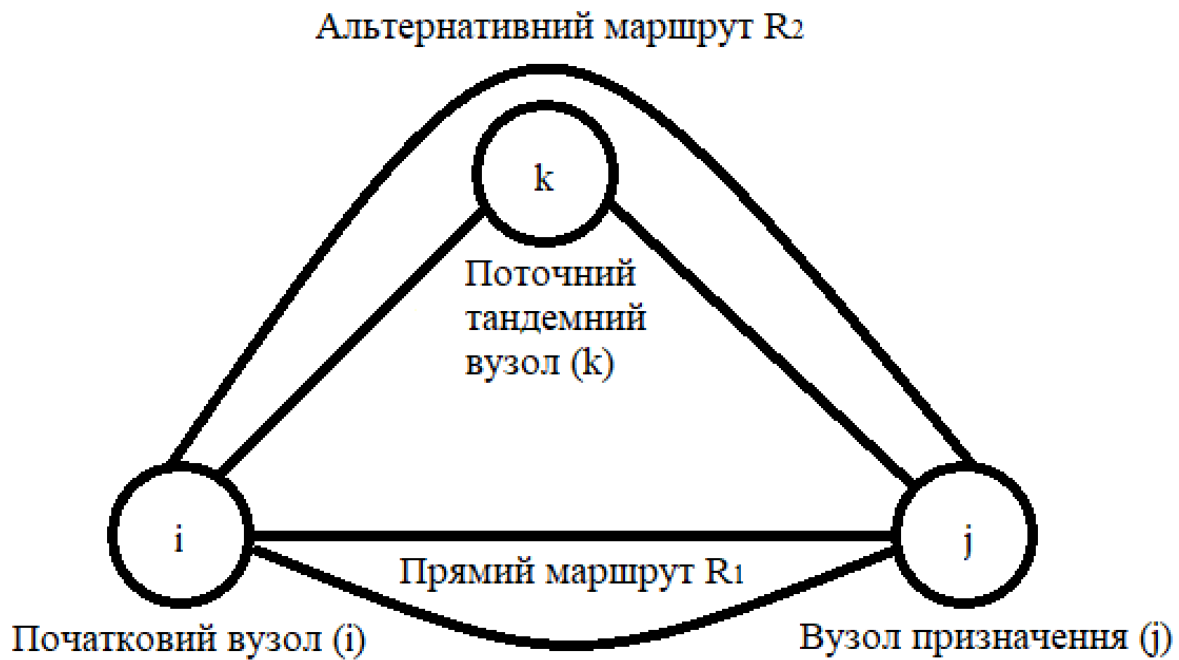


Рис. 1

DAR використовується у мережі з повнозв'язною топологією, та відносно невеликою кількістю вузлів. До того ж, динамічна альтернативна маршрутизація комбінує в собі ідеї резервування магістралі (trunk reservation), та липучої маршрутизації (sticky routing) що будуть описані далі. Як було зазначено раніше, DAR покращує пропускну здатність мережі, використовуючи не велику кількість інформації. А зокрема: Чи були перевищені порогові значення резервування магістралі, і рекомендований маршрут на даний момент.

2.2 Інші схеми маршрутизації

Я опишу найпопулярніші схеми маршрутизації, для того, аби зрозуміти, які ще види маршрутизації використовуються, та порівняти їх із DAR.

1) Фіксована маршрутизація (Fixed Routing, FR) - одна з найпростіших форм маршрутизації, де кожен зв'язок може спробувати лише один маршрут, а саме прямий між двома вузлами. Якщо шлях зайнятий, то виклик блокується і вважається втраченим. Така форма маршрутизації є неефективною якщо в мережі плануються зміни.

2) Випадкова маршрутизація (Random Routing, RR) - також як і в фіксованій маршрутизації, для виклику з двох вузлів (i, j) пропонується прямий шлях, проте, якщо він є зайнятим, то випадково вибирається тандемний вузол k , і пропонується шлях через тандемний вузол (i, k, j). Тандемні вузли з однаковими ймовірностями вибираються з переліку вільних вузлів, проте, якщо всі вони зайняті, то виклик відхиляється.

3) Залежна від часу маршрутизація (Time-Dependent Routing, TDR) - форма маршрутизації, схожа на фіксовану, проте, методи TDR час від часу оновлюють таблиці маршрутизації. Вона залежна від централізованої системи, що оновлює таблиці маршрутизації, і тому не здатна швидко реагувати на зміни в мережі.

4) Залежна від стану маршрутизація (State-Dependent Routing, SDR) - форма маршрутизації, що оновлює маршрути між вузлами в залежності від стану мережі. Рішення про розрив шляху між двома вузлами залежить від ймовірності блокування виклику в майбутньому.

5) Маршрутизація що залежна від подій (Event-Dependent Routing, EDR) - схеми EDR оновлюють таблиці маршрутизації за критерієм, чи був встановлений зв'язок, чи ні. Наприклад, якщо шлях між двома вузлами вийшов з ладу, то ця схема може автоматично прибрати його з таблиці маршрутизації. Вважається кращою за SDR.

Серед всіх перелічених схем маршрутизації, динамічна альтернативна маршрутизація є одною з найпростіших та ефективніших схем маршрутизації.

2.3 Резервування магістралі (Trunk reservation)

Якщо телекомунікаційна мережа сильно навантажена, то більшість зв'язків повинні використовувати непрямий маршрут. Таким чином, використовуючи як

мінімум два маршрути замість одного, мережа буде тримати у два рази менше зв'язків, аніж потенційно може.

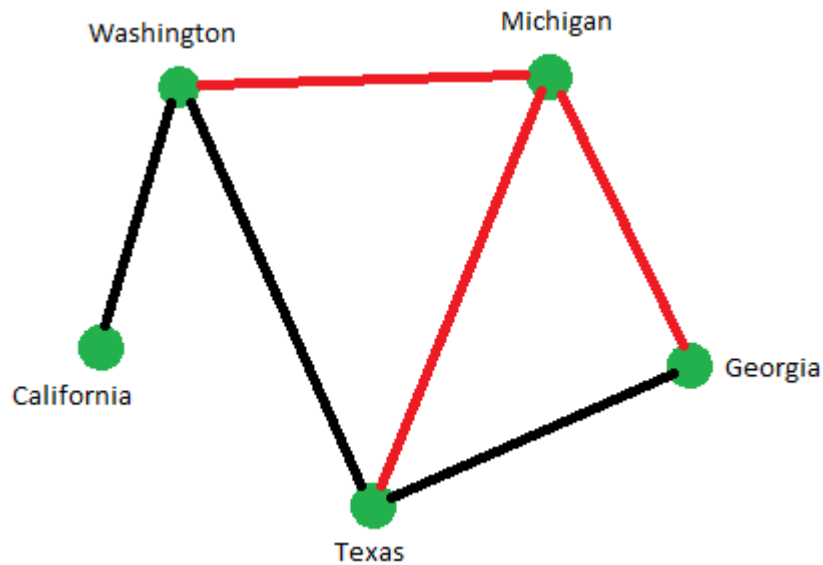


Рис. 2

Математики знайшли рішення цієї проблеми у схемі, під назвою “резервування магістралі”. Вона використовується для управління обсягом всього дозволеного трафіку, який може призвести до переповнення пропускної спроможності, в ситуаціях близьких до перевантаження.

Працює вона наступним чином: Для кожного маршруту ми резервуємо певну дозволена ємність, вона буде використовуватись в подальшому для зв'язку між двома вузлами напрямку. Тепер, коли маршрут переповнюється, всі непрямі виклики (тобто ті, що мають як мінімум один тандемний вузол) ігноруються цим маршрутом. Для такої зарезервованої ємності багато місця не потрібно - не більше пари відсотків серед загальної кількості зв'язків.

Ефект резервування магістралі полягає в тому, що ми іноді відмовляємося здійснювати зв'язки, на які можна було відповісти. Звучить парадоксально, проте це дозволяє нам здійснити більше зв'язків загалом, відкинувши “шкідливі”. [1]

Це ясно побачити на наступному (Рис. 4):

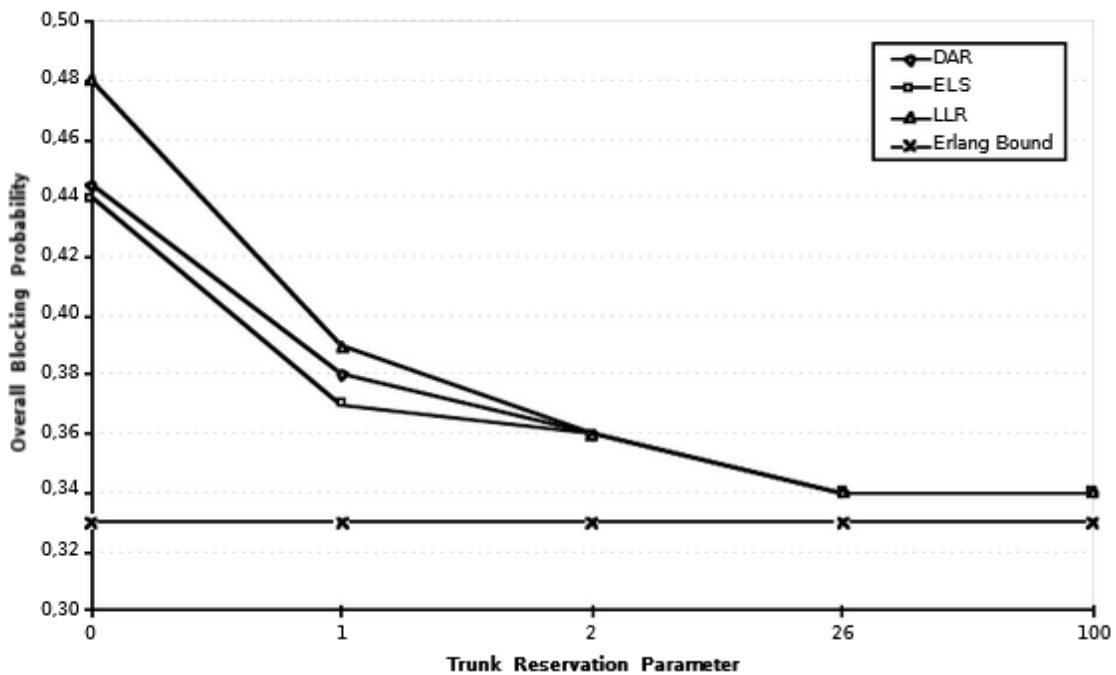


Рис. 3 [6]

2.4 Липуча маршрутизація (Sticky routing)

Липуча маршрутизація використовується в ситуаціях, коли прямий виклик (i, j) між двома вузлами не може бути оброблений через переповненість маршруту. Тоді, очевидно, потрібно знайти довший шлях та додатковий вузол, котрий зможе перенаправити зв'язок у кінцевий вузол.

Скажімо, наприклад, нам потрібно зв'язатися з Мічиганом через Вашингтон, проте прямий шлях переповнений. Тоді, якщо в пам'яті немає альтернативного маршруту у Мічиган, ми випадково перебираємо вузли один за одним, і перевіряємо, чи є маршрут з конкретного вузла у місце призначення. Коли такий вузол знаходиться, альтернативний шлях запам'ятовується, аби в майбутньому заново не шукати альтернативний шлях.

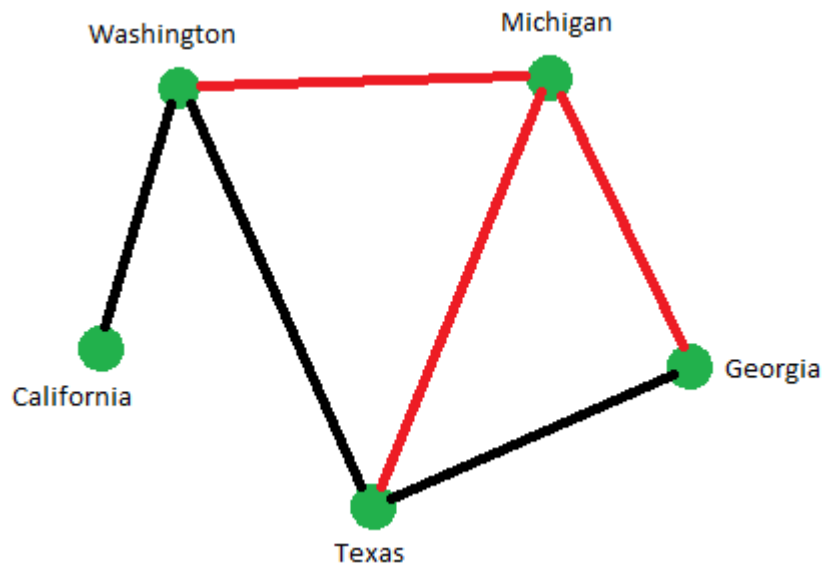


Рис. 4

Скажімо, наприклад, нам потрібно зв'язатися з Мічиганом через Вашингтон, проте прямий шлях переповнений. Тоді, якщо в пам'яті немає альтернативного маршруту у Мічиган, ми випадково перебираємо вузли один за одним, і перевіряємо, чи є маршрут з конкретного вузла у місце призначення. Коли такий вузол знаходиться, альтернативний шлях запам'ятовується, аби в майбутньому знову не шукати альтернативний шлях.

Липуча маршрутизація буде дотримуватись одного і того ж маршруту, знайденого в пам'яті, доки він буде доступним. Коли ж маршрут стає недоступним, то липуча маршрутизація знову шукає новий альтернативний шлях. Саме вона і лягає в основу DAR, разом із trunk reservation.

2.5 Обмеження продуктивності

При аналізі ефективності методів маршрутизації, найважливішим показником якості мережі є середня ймовірність втрат серед всіх пар вихідний пункт - пункт призначення.

2.3.1 Максимально обмежений потік (max-flow bound)

Теорема 1. Нехай $A_{ij}(t)$ позначає пропонований трафік між вузлами i та j як функцію t . Та n_{ij} позначає кількість активних викликів. Тоді маємо наступне [3]:

$$E \left[\sum_{i=1}^j n_{ij}(t) \right] \leq f(\lambda(t))$$

- Де $f(\lambda(t))$ -- це максимальний потік детермінованої лінійної програми.

$$\max \sum_{i=1}^j (x_{ji} + \sum_{k \neq i, j} x_{jk})$$

- За умови, що:

$$x_{ij} + \sum_{k \neq i, j} x_{jk} \leq \lambda_{ij}(t), \text{ при } i < j$$

$$x_{ij} + \sum_{k \neq i, j} (x_{ij} + x_{ij}) \leq C_{ij}, \text{ при } i < j$$

$$x_{ij}, x_{ijk} \geq 0, x_{ijk} = x_{kji}, \text{ для будь-яких } i, j, k.$$

Ця теорема визначає верхню межу трафіку для будь-якої схеми динамічної маршрутизації. [3]

2.3.2 Обмеження Ерланга

Датський математик Ерланг Агнер Краул хотів знати, яка частина абонентів маленького міста виявить, що всі лінії, що ведуть із нього в зовнішній світ, вже заповнені. Він розробив Б-формулу для обчислення загального рівня

обслуговування мережі. Це необхідно робити для побудови моделі динамічної альтернативної маршрутизації. Обчислюється вона наступним чином [3]:

$$B = \frac{\left(\frac{A^N}{N!}\right)}{\left(\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}\right)}$$

- Де: N - кількість маршрутів, A - очікуваний трафік в Ерлангах.

$$\text{Або як: } \frac{\text{кількість заблокованих зв'язків}}{\text{загальна кількість запропонованих зв'язків}} \quad [5]$$

Нехай $E(\lambda, C)$ позначає В-формулу Ерланга (або ж, рівень обслуговування мережі). Тоді, маємо другу теорему [3]:

Теорема 2. $B \geq g(\lambda)$, де $g(\lambda)$ - це мінімум лінійної програми:

$$\min \frac{\sum_{i=1}^j \lambda_{ij} * b_{ij}}{\sum_{i=1}^j \lambda_{ij}}$$

- За умови, що:

$$1) \frac{\sum_{i \in S, j \notin S} \lambda_{ij} * b_{ij}}{\sum_{i \in S, j \notin S} \lambda_{ij}} \geq E \left[\sum_{i \in S, j \notin S} \lambda_{ij}, \sum_{i \in S, j \notin S} C_{ij} \right] - \text{Для будь-якого } S \subset \{1, 2, \dots, J\}$$

$$2) b_{ij} = b_{ji} \geq 0, \text{ при } i < j.$$

Сучасні складні мережі все ще базуються на роботі Ерланга.

2.6 Моделювання DAR

Наслідком простоти схеми DAR є легкість побудови її математичної моделі. З результатів у [3] зрозуміло, що математичне моделювання динамічної альтернативної маршрутизації буде мати мінімальну похибку в порівнянні з симуляцією. Я побудую дві математичні моделі на двох різних мережах.

Моя тестова мережа 1 (див. Модель 1) складається із 9 вузлів, поєднаних 36 маршрутами. Кількість вузлів та ланцюгів у обох мережах я вигадав самотійно.

Модель 1

Пара початок -кінець	сар (Mbps)	Пара початок -кінець	сар (Mbps)	Пара початок -кінець	сар (Mbps)	Пара початок -кінець	сар (Mbps)	Пара початок -кінець	сар (Mbps)
1-2	105	2-3	104	3-5	105	4-8	104	6-9	111
1-3	97	2-4	87	3-6	95	4-9	97	7-8	98
1-4	105	2-5	101	3-7	97	5-6	98	7-9	105
1-5	111	2-6	98	3-8	97	5-7	115	8-9	97
1-6	97	2-7	105	3-9	87	5-8	97		
1-7	88	2-8	107	4-5	97	5-9	93		
1-8	99	2-9	111	4-6	99	6-7	102		
1-9	102	3-4	89	4-7	115	6-8	84		

Згідно з [3], для розрахунку математичної моделі потрібно обрахувати загальний рівень обслуговування мережі.

$$B = \frac{\left(\frac{A^N}{N!}\right)}{N \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{A^k}{k!}\right)}$$

З формули маємо: N - кількість маршрутів, A - очікуваний трафік в Ерлангах. Як відомо, в першій моделі кількість маршрутів дорівнює 36 (повнозв'язна мережа з 9 вузлами).

$$B = \frac{\left(\frac{A^{36}}{36!}\right)}{36 \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{A^k}{k!}\right)}$$

Я задаю такі параметри для мережі: 10 з'єднань / хв, та середню тривалість 5 хвилин.

Запропоноване навантаження для кожної активної пари вузлів: $10 * 5 = 50$

Загальна кількість трафіку на мережу складає 3599mbps.

Ділимо 3599 на 36, аби знайти середній трафік на маршрут.

$$3599 / 36 = 99.97(2)$$

Ділимо (середній трафік на маршрут) на запропоноване навантаження:

$$99.97(2) / 50 = 1.999(4)$$

Тепер знаходимо запропонований трафік (N) = $3599\text{mbps} / 1.999(4) = 1750 \text{ Erlang}$

$$B = \frac{\left(\frac{1750^{36}}{36!}\right)}{36 \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1750^k}{k!}\right)} =$$

- це і буде загальний рівень обслуговування мережі.

Моя тестова мережа 2 (див. Модель 2.1; 2.2) складається із 13 вузлів, поєднаних 78 маршрутами.

Модель 2.1

Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)
1-2	105	2-3	104	3-5	105	4-8	104	5-12	97
1-3	97	2-4	87	3-6	95	4-9	97	5-13	97
1-4	105	2-5	101	3-7	97	4-10	98	6-7	87
1-5	111	2-6	98	3-8	97	4-11	115	6-8	97
1-6	97	2-7	105	3-9	87	4-12	97	6-9	99
1-7	88	2-8	107	3-10	97	4-13	93	6-10	115
1-8	99	2-9	111	3-11	99	5-6	102	6-11	105
1-9	102	2-10	89	3-12	115	5-7	84	6-12	95
1-10	97	2-11	97	3-13	105	5-8	87	6-13	97
1-11	97	2-12	98	4-5	97	5-9	101	7-8	97
1-12	87	2-13	115	4-6	105	5-10	98	7-9	87
1-13	97	3-4	97	4-7	111	5-11	105	7-10	97

Модель 2.2

Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)	Пара початок -кінець	ср (Mbps)
7-11	84	8-10	115	9-10	89	10-11	102	11-13	105
7-12	87	8-11	105	9-11	97	10-12	97	12-13	111
7-13	101	8-12	97	9-12	98	10-13	97		

8-9	98	8-13	105	9-13	115	11-12	87		
-----	----	------	-----	------	-----	-------	----	--	--

Я задаю такі параметри для мережі: 10 з'єднань / хв, та середню тривалість 5 хвилин.

Загальна кількість трафіку на мережу складає 7742mbps.

Ділимо 7742 на 78, аби знайти середній трафік на маршрут.

$$7742 / 78 = 99.2564$$

Ділимо (середній трафік на маршрут) на запропоноване навантаження:

$$99.2564 / 50 = 1.9851$$

Тепер знаходимо пропонований трафік (N) = 7752mbps / 1.9851 = 3905 Erlang

$$B = \frac{\left(\frac{3905^{36}}{36!}\right)}{\left(\sum_{k=0}^{36} \frac{3905^k}{k!}\right)} =$$

це і буде загальний рівень обслуговування мережі DAR.

2.7 Розширення DAR

В загальному вигляді DAR підходить для вирішення невеликої кількості різних ситуацій. Можна розширити рамки використання DAR на такі:

- 1) Набір тандемних вузлів можна використовувати та переключати з послідовними викликами перенавантаження. Це означає, що трафік буде спеціально розподілений між кількома тандемними вузлами.
- 2) Тандемні вузли також можуть бути обрані відповідно до певного розподілу, крім рівномірного, в результаті чого деяким тандемним вузлам надається перевага.
- 3) Механізм резервування магістралі може бути розширений, так що для кожного зв'язку призначається другий більший параметр, який сигналізує про повторний вибір тандемного вузла, але не про відхилення виклику.

Також, варто згадати динамічну альтернативну маршрутизацію із захистом декількох шляхів (Dynamic Alternative Routing with multiple paths protection, DARMP protection). (Рис. 2)

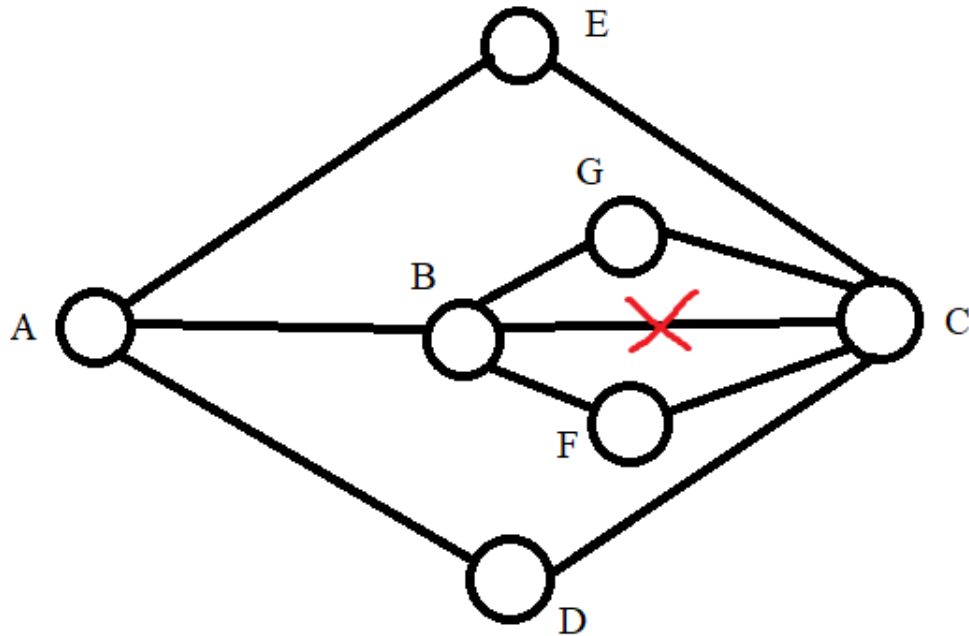


Рис. 5 [7]

Якщо зв'язок В-С виходить з ладу, то зв'язки що проходили через цей маршрут дублюються по альтернативним маршрутам В-Г-С і В-Ф-С. Після того, як маршрут В-С вийшов з ладу, нові зв'язки що надходять з вузла А будуть перенаправлятись на альтернативні, та коротші маршрути (А-Е-С та А-Д-С). DARMP protection є залежною від подій маршрутизацією.

3 Висновки

В розділі 2 моєї курсової роботи я описав поведінку DAR (2.1) та порівняв її з іншими схемами маршрутизації (2.2). В підрозділах 2.3 та 2.4 розглянуті дві основні ідеї, що лежать в основі динамічної альтернативної маршрутизації. В підрозділі 2.5 я ввів поняття обмеження продуктивності, що грає ключову роль у моделюванні та оцінці продуктивності DAR (2.6). В останньому підрозділі 2.7 описані основні модифікації та розширення схеми динамічної альтернативної маршрутизації.

4 Список літератури

1. Richard Gibbens, Stephen Turner. Call routing in telephone networks.
<https://plus.maths.org/content/os/issue2/dar/index>
2. Dynamic routing in circuit-switched non-hierarchical networks.
http://etheses.dur.ac.uk/6650/1/6650_3954.PDF?UkUDh:CyT
3. R.J. Gibbens, F.P. Kelly, P.B. Key. Dynamic alternative routing - modelling and behaviour.
4. Dynamic Routing in Telecommunications Networks.
<http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38130/s96/papers/dyn.pdf>
5. Kennedy I., Lost Call Theory, Lecture Notes, ELEN5007 – Teletraffic Engineering, School of Electrical and Information Engineering, University of the Witwatersrand, 2005
6. Arianna Bertolini, Ugo Mocci, Caterina Scoglio. Routing Algorithms for Robustness.
7. Catarina Francisco, Paulo Monteiro, Lucia Martins. Dynamic alternative routing with local protection paths in MPLS networks.