

УДК 621.382

Максимов В. В., к.т.н.; Кравченко Д. О., магістрант; Литвин О. О., студент

АНАЛІЗ ЧАСУ ЗБІЖНОСТІ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ OSPFv2 І OSPFv3

Maksymov V. V., Kravchenko D. O., A. Lytvyn O. O. Comparison of convergence time of routing protocols OSPFv2 and OSPFv3. In this work, you can find out results of comparison of the convergence time for the routing protocols OSPFv2 and OSPFv3 in the identical terms. Convergence time depends on the whole variety of factors, such as: failure detection type, the overall load on a network, diameter of a network, load on the central computing unit. Convergence time relies on the size and complexity of a network. The best results, which are required to achieve, in terms of convergence time, as fast as possible. For analysis of routing protocols the main step is to choose a topology, which will be analyzed. Because, on different layers of the network the whole variety of topologies could be used, analysis of one particular topology wouldn't embrace the object of analysis. Also, an important thing for analysis is availability or non-availability of alternative routes in the topology, and dividing on routed zones. Additionally, fast convergence depends on: time, which is required to detect an issue; time to flood LSA packets between neighbors in the network, start executing SPF algorithm, time to update routing tables.

Keywords: routing, OSPFv2, OSPFv3, convergence time

Максимов В. В., Кравченко Д. О., Литвин О. О. Аналіз часу збіжності протоколів маршрутизації OSPFv2 і OSPFv3. В даній роботі представлено практичний результат дослідження часу збіжності протоколів OSPFv2 і OSPFv3 при підключенні нового маршрутизатору до мережі та за однакових умов. Швидкість збіжності залежить від ряду факторів, включаючи тип методу виявлення помилок, завантаженості мережі, діаметр мережі, навантаження на центральний процесор. Час збіжності залежить від розміру і складності мережі. У процесі збіжності, бажаний ефект полягає в досягненні якнайшвидшого часу збіжності.

Ключові слова: маршрутизація, OSPFv2, OSPFv3, час збіжності

Максимов В. В., Кравченко Д. А., Литвин А. А. Анализ времени сходимости протоколов маршрутизации OSPFv2 и OSPFv3. В данной работе предоставлен результат исследования времени сходимости протоколов маршрутизации OSPFv2 и OSPFv3 при подключении нового маршрутизатора и при работе в идентичных условиях. Время сходимости зависит от ряда факторов, таких как тип метода выявления ошибок, нагруженности сети, диаметр сети, нагрузки на центральный процессор. Время сходимости зависит от размера и сложности сети. Во время процесса сходимости, желаемым результатом является самая быстрая сходимоть.

Ключевые слова: маршрутизация, OSPFv2, OSPFv3, время сходимости

1. Вступ. Під збіжністю мережі [1] розуміють процес відновлення (синхронізації) таблиць маршрутизації між маршрутизаторами після зміни топології мережі. «Збіг» мережі означає, що відбувається розрахунок/пошук альтернативного маршруту за «деякий» проміжок часу, який визначається максимальним часом, необхідним для відновлення мережі.

Згідно [2, 3] збіжність протоколу OSPF може бути розрахована як

$$\text{Convergence} = \text{Failure_Detection_Time} + \text{Event_Propagation_Time} + \text{SPF_Run_Time} + \text{RIB_FIB_Update_Time}, \quad (1)$$

де Failure_Detection_Time – час, необхідний для виявлення проблем на фізичному рівні (наприклад, обрив каналу);

Event_Propagation_Time – час, необхідний для поширення LSA пакетів сусідам в мережі;

SPF_Run_Time – час, необхідний для запуску розрахунку алгоритму SPF, після отримання нових даних;

RIB_FIB_Update_Time – час, необхідний для оновлення таблиць маршрутизації (RIB / FIB).

В [2, 3] розглянуто складові формули (1), але не надано їх аналітичних виразів. Розглянемо ці складові для мереж IPv4 і IPv6, які використовують протоколи маршрутизації OSPFv2 і OSPFv3.

Час Failure_Detection_Time, необхідний для виявлення проблем на фізичному рівні, – для OSPFv2 і OSPFv3 в середньому складає 100 мс [4, 5].

Час, необхідний для поширення LSA пакетів сусідам в мережі, може бути знайдений як

$$\text{Event_Propagation_Time} = \text{LSA_generation_delay} + \text{LSA_reception_delay} + \text{Processing_Delay} + \text{Packet_Propagation_Delay}, \quad (2)$$

де LSA_generation_delay – час генерації пакетів LSA;

LSA_reception_delay – затримка прийому пакетів LSA;

Processing_Delay – час необхідний маршрутизатору для того, щоб поставити LSA повідомлення в чергу на розсилку оновлень іншим маршрутизаторам;

Packet_Propagation_Delay – час затримки, який залежить безпосередньо від середовища передачі даних.

Час генерації пакетів LSA, може бути знайдений як

$$\text{LSA_generation_delay} = \text{initial_interval} + \text{hold}, \quad (3)$$

де initial_interval – час затримки перед відправкою LSA;

hold – час, по закінченню якого LSA буде відправлено іншим маршрутизаторам, якщо змін не відбулося.

Для OSPFv2 і OSPFv3 initial_interval і hold в середньому складають по 100 мс [4, 5].

Затримка прийому LSA (затримка на прийом та обробку LSA повідомлень, отриманих маршрутизатором від сусідів) може бути знайдена як

$$\text{LSA_reception_delay_IPv4} = \text{lsa_arrival} + \text{pacing_retransmission}, \quad (4)$$

де lsa_arrival – затримка обробки LSA повідомлень;

pacing_retransmission – затримка на повторну обробку LSA повідомлень, що надходять.

Для OSPFv2 і OSPFv3 lsa_arrival складає в середньому 1000 мс, pacing_retransmission – 66 мс [4, 5].

Час, необхідний маршрутизатору для того, щоб поставити LSA повідомлення в чергу на розсилку оновлень іншим маршрутизаторам, Processing_Delay для OSPFv2 і OSPFv3 складає в середньому 33 мс [4, 5].

Час затримки пакету Packet_Propagation_Delay, який залежить безпосередньо від середовища передачі даних, в найгіршому випадку для OSPFv2 складає 0,1 с, а для OSPFv3 – 0,7 с [4, 5].

Час запуску розрахунку алгоритму SPF може бути знайдений як

$$\text{SPF_Run_Time} = \text{SPF_Run_Time_Delay} + \text{SPF_Run_Time_Calculation}, \quad (5)$$

де SPF_Run_Time_Delay – затримка часу запуску алгоритму SPF;

SPF_Run_Time_Calculation – розрахунок часу запуску алгоритму SPF. Для OSPFv2 час SPF_Run_Time_Delay в середньому складає 5 с, час SPF_Run_Time_Calculation – 0,1 с. Для OSPFv3 відповідно 10 с і 0,2 с.

Час оновлення в таблиці маршрутизації RIB_FIB_Update_Time для OSPFv2 і OSPFv3 складає в середньому 100 мс [4, 5].

Метою даної роботи є перевірка отриманих аналітичних виразів (2)...(5) складових збіжності протоколу OSPF і представлення практичних результатів дослідження часу збіжності протоколів OSPFv2 і OSPFv3 при підключенні нового маршрутизатору до мережі ідентичної топології.

2. Методика дослідження часу збіжності протоколів маршрутизації OSPFv2 та OSPFv3. Під час порівняльного дослідження протоколів маршрутизації необхідно виміряти залежності часу збіжності від кількості маршрутизаторів та налаштувань таймерів протоколу під час підключення нового маршрутизатору.

Мета експерименту полягає в визначенні часу, який пройде від моменту підключення нового маршрутизатору до моменту його доступності із найбільш віддаленого вузла. Враховуючи алгоритм роботи процедури водонаповнення, для даного експерименту доцільно застосовувати деревоподібну топологію. Оскільки час збіжності залежить від діаметру графу, а кількість службової інформації – від кількості маршрутизаторів та зв'язків між ними, результати, отримані для деревоподібної топології, будуть аналогічним для будь-якої іншої топології із таким самим діаметром та кількістю вузлів.

Параметрами експерименту виступають: діаметр графу деревоподібної топології, кількість відгалужень, внутрішні таймери протоколів.

Враховуючи практичні розміри автономних систем операторів, доцільно розглядати деревоподібні топології із діаметром графу від 1 до 15 та довільним числом відгалужень.

Для дослідження протоколу OSPFv2 в GNS3 побудовано мережу IPv4, яка зображена на Рис. 1. Для дослідження протоколу OSPFv3 було побудовано ідентичну за топологією, але іншу за адресним планом мережу IPv6, представлену на Рис. 2.

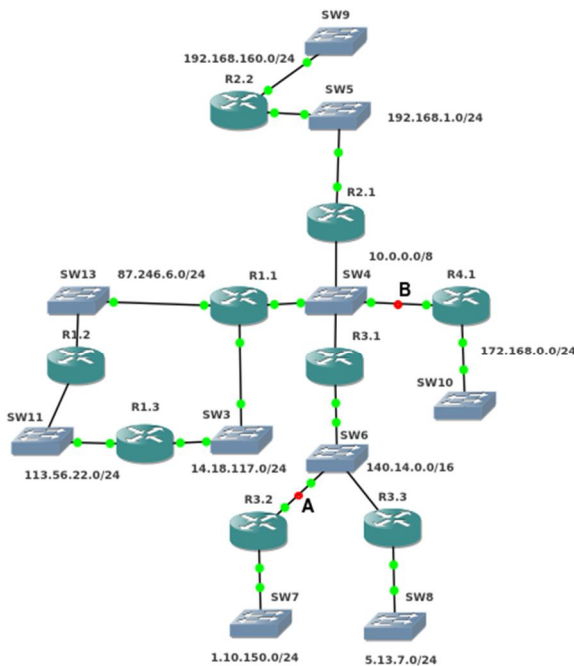


Рис. 1. Експериментальна топологія для протоколу IPv4

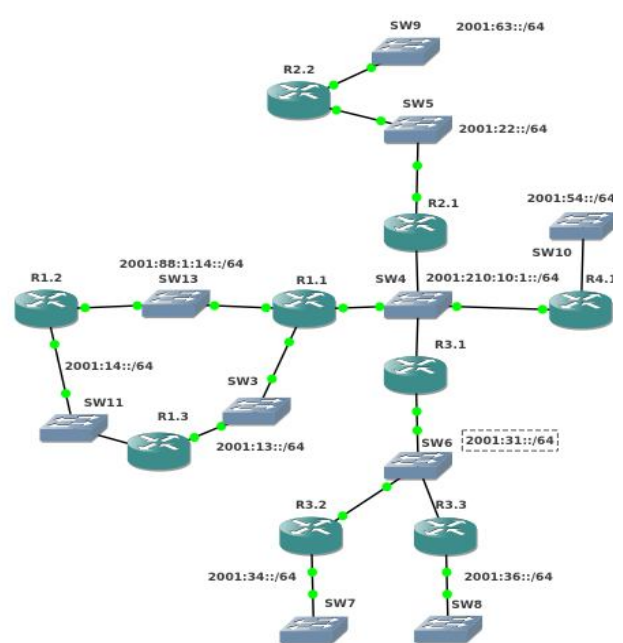


Рис. 2. Експериментальна топологія для протоколу IPv6.

Схема складається із маршрутизаторів R1.1, R1.2, R1.3, R1.4, R2.1, R2.2, R3.1, R3.2, R3.3, R4.1 які утворюють деревоподібну топологію. Комутатори SW3, SW4, SW5, SW6, SW7, SW8, SW9, SW10, SW11, SW13 імітують Ethernet мережу, якою з'єднані маршрутизатори. Всі виміри проводились з маршрутизатора R4.1.

Методика проведення експерименту:

- побудувати мережу в GNS3 та налаштувати протокол динамічної маршрутизації, який досліджується;
- по чергово відмикати командою shutdown досліджувані маршрутизатори (їх інтерфейси) в точках, які були обрані для дослідження.
- зачекати, доки досліджувана мережа видалиться з таблиці маршрутизатора (перевіряється командою <show ip route>, запущеною з привілейованого режиму на будь-якому маршрутизаторі); необхідно дочекатись, доки видалиться та мережа, де знаходиться адресат команди ping (приклад наведено далі);
- ввімкнути аналізатор пакетів Wireshark на досліджуваних лініях зв'язку, наприклад на лінії зв'язку між досліджуваним маршрутизатором (який буде відмикатись) та іншим

(функціонуючим) для перевірки; на Рис. 1 наведено приклад увімкнення аналізатору пакетів Wireshark, для випадку дослідження R3.2, позначено точками А та В.

• за допомогою командної строки на маршрутизаторі, який виконує роль експериментатора, виконати команду «ping <бажаний інтерфейс> great 1000» [6]. Дана команда розпочне відправляти ICMP запити до мережі, що підключається; буде надіслано 1000 запитів; після їх передачі команда ping сама закінчить своє виконання;

• увімкнути інтерфейс досліджуваного маршрутизатора, включити секундомір;

• зупинити секундомір при отриманні першого повідомлення-відповіді ICMP (протокол, за допомогою якого працює команда ping). Отриманий час – є сумою часу збіжності протоколу та часу увімкнення інтерфейсу.

Цю методику можна застосовувати для дослідження будь-якого протоколу маршрутизації.

3. Теоретичне дослідження часу збіжності протоколів маршрутизації OSPFv2 та OSPFv3. Для експериментальної топології дослідження протоколу OSPFv2 (Рис. 1) запишемо:

$$\text{Convergence_IPv4} = \text{Change_Detection_Time_IPv4} + \text{Event_Propagation_Time_IPv4} + \text{SPF_Run_Time_IPv4} + \text{RIB_FIB_Update_Time_IPv4},$$

де $\text{Change_Detection_Time_IPv4} = 100$ мс, середній час виявлення змін в топології;

$$\text{Event_Propagation_Time_IPv4} = \text{LSA_generation_delay_IPv4} + \text{LSA_reception_delay_IPv4} + \text{Processing_Delay_IPv4} + \text{Packet_Propagation_Delay_IPv4};$$

$$\text{LSA_generation_delay} = \text{initial_interval} + \text{hold} = 100 + 100 = 200 \text{ мс};$$

$$\text{LSA_reception_delay_IPv4} = \text{lsa_arrival} + \text{pacing_retransmission} = 1000 + 66 = 1066 \text{ мс};$$

$$\text{Processing_Delay_IPv4} = 33 \text{ мс};$$

$$\text{Packet_Propagation_Delay_IPv4} = 0,1 \text{ с, (в найгіршому випадку)};$$

$$\text{SPF_Run_Time_IPv4} = \text{SPF_Run_Time_Delay_IPv4} + \text{SPF_Run_Time_Calculation_IPv4} = 5 + 0,1 = 5,1 \text{ с.}$$

$$\text{RIB_FIB_Update_Time_IPv4} = 100 \text{ мс.}$$

$$\text{Convergence_IPv4} = 100 + 200 + 1066 + 33 + 100 + 5100 + 100 = 6699 \text{ мс} = 6,7 \text{ с.}$$

Дані значення показані на скріншоті 1.

Для експериментальної топології дослідження протоколу OSPFv3 (Рис. 2) запишемо:

$$\text{Convergence_IPv6} = \text{Change_Detection_Time_IPv6} + \text{Event_Propagation_Time_IPv6} + \text{SPF_Run_Time_IPv6} + \text{RIB_FIB_Update_Time_IPv6},$$

де $\text{Change_Detection_Time_IPv6} = 100$ мс, середній час виявлення змін в топології;

$$\text{Event_Propagation_Time_IPv6} = \text{LSA_generation_delay_IPv6} + \text{LSA_reception_delay_IPv6} + \text{Processing_Delay_IPv6} + \text{Packet_Propagation_Delay_IPv6};$$

$$\text{LSA_generation_delay} = \text{initial_interval} + \text{hold} = 100 + 100 = 200 \text{ мс};$$

$$\text{LSA_reception_delay_IPv6} = \text{lsa_arrival} + \text{pacing_retransmission} = 1000 + 66 = 1066 \text{ мс.}$$

$$\text{Processing_Delay_IPv6} = 33 \text{ мс};$$

$$\text{Packet_Propagation_Delay_IPv6} = 0,7 \text{ с, (в найгіршому випадку)};$$

$$\text{SPF_Run_Time_IPv6} = \text{SPF_Run_Time_Delay_IPv6} + \text{SPF_Run_Time_Calculation_IPv6} = 10 + 0,2 = 10,2 \text{ с};$$

$$\text{RIB_FIB_Update_Time_IPv6} = 100 \text{ мс.}$$

$$\text{Convergence_IPv6} = 100 + 200 + 1066 + 33 + 700 + 10200 + 100 = 12399 \text{ мс} = 12,4 \text{ с.}$$

Дані значення показані на скріншоті 2.

Дані формули можуть бути використані для розрахунку часу підключення нового маршрутизатора для подібних топологій.

```

R3.3
R3.3#sh ip ospf
Routing Process "ospf 1" with ID 3.3.1.1
Start time: 00:00:34.148, Time elapsed: 00:39:02.860
Supports only single TOS(TOS0) routes
Supports opaque LSA
Supports Link-local Signaling (LLS)
Supports area transit capability
Router is not originating router-LSAs with maximum metric
Initial SPF schedule delay 5000 msec
Minimum hold time between two consecutive SPF's 10000 msec
Maximum wait time between two consecutive SPF's 10000 msec
Incremental-SPF disabled
Minimum LSA interval 5 secs
Minimum LSA arrival 1000 msec
LSA group pacing timer 240 secs
Interface flood pacing timer 33 msec
Retransmission pacing timer 66 msec
Number of external LSA 0, Checksum Sum 0x000000
Number of opaque AS LSA 0, Checksum Sum 0x000000
Number of DCbitless external and opaque AS LSA 0
Number of DoNotAge external and opaque AS LSA 0
Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
Number of areas transit capable is 0
External flood list length 0
  Area BACKBONE(0)
    Number of interfaces in this area is 2
    Area has no authentication
    SPF algorithm last executed 00:37:48.648 ago
    SPF algorithm executed 3 times
    Area ranges are
    Number of LSA 15, Checksum Sum 0x044C3C
    Number of opaque link LSA 0, Checksum Sum 0x000000
    Number of DCbitless LSA 0
    Number of indication LSA 0
    Number of DoNotAge LSA 0
    Flood list length 0
R3.3#
    
```

Скріншот 1. Основні конфігураційні параметри протоколу OSPFv2

```

R3.3
R3.3(config-rtr)#do sh ipv6 ospf
Routing Process "ospfv3 1" with ID 3.3.1.1
SPF schedule delay 10 secs, Hold time between two SPF's 10 secs
Minimum LSA interval 5 secs, Minimum LSA arrival 1 secs
LSA group pacing timer 240 secs
Interface flood pacing timer 33 msec
Retransmission pacing timer 66 msec
Number of external LSA 0, Checksum Sum 0x000000
Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
Reference bandwidth unit is 100 mbps
  Area BACKBONE(0)
    Number of interfaces in this area is 2
    SPF algorithm executed 4 times
    Number of LSA 29, Checksum Sum 0x0D9C6C
    Number of DCbitless LSA 0
    Number of indication LSA 0
    Number of DoNotAge LSA 0
    Flood list length 0
R3.3(config-rtr)#
    
```

Скріншот 2. Основні конфігураційні параметри протоколу OSPFv3

4. Практичне дослідження часу збіжності протоколів маршрутизації OSPFv2 та OSPFv3. Для дослідження протоколів маршрутизації важливим етапом є вибір топології досліджуваної мережі [7]. Оскільки на різних рівнях мережі можуть застосовуватись різні топології, дослідження однієї конкретної топології не буде всебічно охоплювати об'єкт дослідження. Важливим для дослідження також є наявність чи відсутність альтернативних шляхів у топології та поділ на зони маршрутизації.

Проведено серію з трьох вимірів для кожного маршрутизатору, який підключається, в мережі IPv4 та IPv6. Досліди проводились з маршрутизатору R4.1, який було обрано як маршрутизатор, в одній з мереж якого розташований персональний комп'ютер експериментатора. Результати наведені в Табл. 1.

Результати досліджень часу збіжності

Табл. 1

Маршрутизатор	Вимірний час в мережі IPv4, с.			Вимірний час в мережі IPv6, с.		
	Серія 1	Серія 2	Серія 3	Серія 1	Серія 2	Серія 3
R1.3	6,17	6,29	6,83	14,32	13,96	14,15
R1.1	6,33	6,12	6,27	13,89	13,31	13,38
R2.2	6,91	7,17	7,28	13,88	14,20	14,03
R2.1	7,24	7,16	6,73	13,72	14,15	14,09
R3.3	7,45	7,63	7,25	14,88	15,13	15,2
R3.2	7,03	6,71	7,15	13,63	14,02	14,12
R3.1	6,69	7,02	7,34	14,48	13,95	14,07
Середній час збіжності, с	6,89			14,12		

Середній час збіжності для протоколу OSPFv2 складає 6,89 с, для протоколу OSPFv3 відповідно 14,12 с. Відносна похибка відхилення середнього часу збіжності від теоретично розрахованого для протоколу OSPFv2 складає 2,89%, для протоколу OSPFv3 – 13,89%.

Отримані результати показують, що час збіжності в IPv6 більший, ніж в IPv4. Це зв'язано з тим, що OSPFv3 використовує інші стандартні параметри для підрахунку найкоротшого шляху, а саме параметр `SPF_scheduled_delay`. Також, заголовки протоколу IPv6 складніші для

опрацювання центральний процесором персонального комп'ютеру, на противагу OSPFv2, який працює на IPv4, заголовки і структура якого простіші. Для підтвердження теоретичних розрахунків було б доцільно провести дослідження на справжньому обладнанні, а не на віртуальному. Дані результати можуть бути використані під час розгортання подібних мереж [8], які використовують протоколи маршрутизації OSPFv2 і OSPFv3.

В подальшому планується дослідити залежність часу збіжності від діаметру мережі.

5. Висновки. Швидкість збіжності залежить від ряду факторів, таких як час, необхідний для виявлення проблем, час для поширення LSA пакетів сусідам в мережі, час запуску розрахунку алгоритму SPF, для оновлення таблиць маршрутизації.

1). Відносна похибка відхилення результатів моделювання від теоретично отриманих досить мала, і дорівнює 2,89% для OSPFv2 та 13,88% для OSPFv3, тому можна стверджувати, що отримані формули можна використовувати для підрахунку часу збіжності будь-яких мереж, які використовують протокол маршрутизації OSPF.

2). Час збіжності залежить від розміру і складності мережі. У процесі збіжності, бажаний ефект полягає в досягненні якнайменшого часу збіжності.

Література

1. Томас М. Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF, том. 2 / М. Томас.; пер. с англ. – 2-е изд. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 816с.
2. Lapukhov P. “OSPF Fast Convergence” [Електронний ресурс] / Petr Lapukhov. // – Режим доступу : <http://blog.ine.com/2010/06/02/ospf-fast-convergenc/>
3. Быстрая сходимость OSPF. Таймеры протокола OSPF [Електронний ресурс] : // – Режим доступу : <http://network-lab.ru/byistraya-shodimost-ospf-taumeriyi-protokola-ospf/>
4. J. Moy "OSPF version 2", Network Working Group, Request For Comment 2328, april 1998. [Електронний ресурс] : // – Режим доступу : <https://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>.
5. R. Coltun, D. Ferguson, J. Moy, "OSPF for IPv6", Network Working Group, Request for Comments: 5340, July 2008 [Електронний ресурс] : // – Режим доступу : <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5340.txt/>
6. Использование расширенных команд ping и traceroute. [Електронний ресурс] : // – Режим доступу : http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/10/107/107540_ext_ping_trace.pdf
7. Протоколи міжмережної взаємодії : навчальний посібник [Текст] / П. П. Воробієнко, В. В. Каразей, О. О. Скопа. – Одеса : УДАЗ ім. О. С. Попова, 1999. – 50 с.
8. Казакова, Н. Ф. Принципи побудови захищених інтелектуальних мереж / Н. Ф. Казакова // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2009. – Т. 7, № 4. – С. 381-388.

Автори статті

Максимов Володимир Васильович, кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ. Тел. +380 (68) 810 40 47. E-mail: maksimov46@ukr.net

Кравченко Дмитро Олександрович, магістрант, кафедра телекомунікаційних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ. Тел.: +380 (66) 11829 21. E-mail: gmlkravhenkodima@gmail.com

Литвин Олександр Олександрович, студент, кафедра телекомунікаційних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ. , Тел.: +380 (98) 094 83 21. E-mail: litvinolek@gmail.com

Дата надходження в редакцію: 28.07.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л. О. Уривський