

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄМУ СЛУЖБОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРОТОКОЛУ OSPF

В даній роботі отримано аналітичні вирази об'єму періодичної та аперіодичної службової інформації протоколу OSPF, експериментально перевірено отримані вирази. Описано переваги та недоліки протоколу OSPF.

Максимов В.В., Самойлюк А.А. Аналитическая модель объема служебной информации протокола OSPF. В данной работе получены аналитические выражения объема периодической и аперiodической служебной информации протокола OSPF, экспериментально проверены полученные выражения. Описаны преимущества и недостатки протокола OSPF.

V. Maksymov, A.Samoiliuk Analytical model of the amount of OSPF protocol service traffic. Analytical expressions of the amount of periodic and aperiodic service information of the OSPF routing protocol are considered and investigated in this paper. Advantages and disadvantages of OSPF are described.

Ключові слова: маршрутизація, OSPF, службова інформація, GNS3.

Вступ. На сьогоднішній день, із все більшим переходом до мереж із комутацією пакетів, протоколи маршрутизації відіграють важливу роль не лише у комп'ютерних мережах, а і у телекомунікаційних мережах у цілому.

Протокол OSPF (Open Shortest Path First) являє собою класичний протокол маршрутизації, що працює за принципом стану каналів. Даний протокол використовує ієрархічну маршрутизацію, адреси типу multicast та апарат «визначених» (designated) маршрутизаторів, що в сукупності дозволяє істотно підвищити ефективність використання каналів передачі даних за рахунок скорочення частки переданого по них службового трафіку. Також, допускається існування декількох маршрутів у напрямку деякого вузла мережі. У тому випадку, якщо ці маршрути забезпечують однакову якість передачі даних, інформаційний потік на адресу даного вузла може бути спрямований по всіх цих каналах одночасно, що забезпечить істотне збільшення швидкості передачі даних. Крім того, даний протокол підтримує позакласові мережі та процедуру встановлення автентичності джерела інформації.

Враховуючи поширення інформаційних технологій, наслідком якого є лавинне зростання трафіку в телекомунікаційних мережах [1], а також перехід магістральних телекомунікаційних мереж від синхронних технологій із часовим розділенням каналів до комутації пакетів [2], зростає інтерес до розробки та оптимізації мережевих протоколів, в тому числі протоколів маршрутизації. Вибір та налаштування протоколу маршрутизації стає актуальною задачею.

У роботі [3], наприклад, порівнюється протокол OSPF та IGRP (Interior Gateway Routing Protocol). Аналіз розглянутої в [3] мережі базується на методі її декомпозиції та розрахунку окремих вузлів як систем масового обслуговування. Проте вираз для визначення обсягу службової інформації надано в загальному вигляді без виведення, що ускладнює її визначення для порівнюваних в [3] протоколів.

У роботі [4] розглядаються питання визначення показників ефективності протоколу OSPF і, серед іншого, наводяться аналітичні вирази для розрахунку довжин службових пакетів. На жаль, всі вони не враховують внутрішню структуру пакетів і використовують значення MTU (Maximum Transmission Unit), тобто максимального розміру блоку (у байтах), який може бути переданий на каналному рівні мережевої моделі OSI. Останнє потребує знання цього значення для всієї мережі, бо інакше виникають проблеми при розрахунку об'єму службового трафіку: по-перше, якщо хост буде знати значення MTU для власного (можливо і своїх сусідів) інтерфейсу, то мінімальне значення MTU для всіх вузлів мережі йому буде невідомо. По-друге, потенційна проблема полягає в тому, що протоколи більш

високого рівня OSI можуть створювати пакети більшого розміру, які не підтримуються іншими вузлами мережі.

Метою даної роботи є формування та експериментальна перевірка аналітичної моделі об'єму службової інформації протоколу OSPF.

Принципи роботи протоколу OSPF. В маршрутизаторі OSPF підтримуються три бази даних: суміжності, станів каналів та пересилки. Остання також називається таблицею маршрутизації. База даних суміжності – це список всіх пристроїв, з якими встановлено двосторонні з'єднання. База даних станів каналів містить всю інформацію про стан каналів всіх маршрутизаторів, тобто дана база містить загальну топологію всієї мережі. Слід зазначити, що всі маршрутизатори OSPF підтримують однакову базу даних стану каналів. База даних пересилки (таблиця маршрутизації) це список маршрутів, який сформований кожним маршрутизатором за допомогою алгоритму пошуку найкоротших шляхів Дейкстри.

Для оновлення цих баз даних маршрутизатори, що безпосередньо з'єднані один із одним, обмінюються службовою інформацією. Один тип службових повідомлень розсилається періодично, інший – при виявленні змін в мережі. Інтенсивність службової інформації, що надсилається періодично, можливо визначити в байтах за секунду, кількість неперіодичної службової інформації – в байтах.

Загалом, протокол OSPF застосовує п'ять типів пакетів: Hello, Database Description (DD), Link State Request (LSR), Link State Update (LSU), Link State Acknowledge (LSAck), кожен з яких розпочинається стандартним заголовком OSPF наступної структури:

$$l_{ospfheader} = l_{version} + l_{type} + l_{packetlength} + l_{routerID} + l_{areaID} + l_{checksum} + l_{AUtype} + l_{AU}$$

де:

$$l_{version} = 1 \text{ [байт]}, \quad l_{type} = 1 \text{ [байт]}, \quad l_{packetlength} = 2 \text{ [байти]}, \quad l_{routerID} = 4 \text{ [байти]},$$

$$l_{areaID} = 4 \text{ [байти]}, \quad l_{checksum} = 2 \text{ [байти]}, \quad l_{AUtype} = 2 \text{ [байти]}, \quad l_{AU} = 8 \text{ [байт]}.$$

Отже, довжина заголовку OSPF складає:

$$l_{ospfheader} = 1 + 1 + 2 + 4 + 4 + 2 + 2 + 8 = 24 \text{ [байти]}$$

В базі даних суміжностей записуються усі маршрутизатори, що безпосередньо підключені до маршрутизатора, в якому ця база зберігається. Ця база даних будується при увімкненні маршрутизатору та постійно оновлюється за допомогою пакетів Hello, який передається в усі інтерфейси маршрутизатора, на яких активовано протокол OSPF. У вказаному пакеті передається інформація про маску мережі, таймери протоколів, власну IP адресу та IP адреси сусідніх маршрутизаторів. Причому, сусідніми маршрутизаторами називаються маршрутизатори, що знаходяться в одній мережі IP [5]. Виходячи із структури пакета hello, описаний в [6], довжина даного пакета може бути обчислена як:

$$l_{OSPFHello} = l_{ospfheader} + l_{mask} + l_{hello-interval} + l_{options} + l_{routerpriority} + l_{dead-interval} + l_{DRID} + l_{BDRID} + n_c \cdot l_{neighbourID}$$

де:

$$l_{mask} = 4 \text{ [байти]}, \quad l_{hello-interval} = 2 \text{ [байти]}, \quad l_{options} = 1 \text{ [байт]}, \quad l_{routerpriority} = 1 \text{ [байт]},$$

$$l_{dead-interval} = 4 \text{ [байти]}, \quad l_{DRID} = 4 \text{ [байти]}, \quad l_{BDRID} = 4 \text{ [байти]}, \quad l_{neighbourID} = 4 \text{ [байти]}$$

n_c – кількість маршрутизаторів сусідів.

Отже:

$$l_{OSPFHello} = l_{ospfheader} + 20 + n_c \cdot l_{neighbourID} = 44 + 4n_c \text{ [байт]} \quad (1)$$

Проте, важливим є не лише довжина пакета, а і періодичність його відправлення. Параметром, що визначає дану періодичність, є hello-інтервал – проміжок часу, через який відправляються пакети hello. Зменшення даного інтервалу призводить до прискорення роботи протоколу маршрутизації, проте, збільшує кількість службової інформації. Нехай два маршрутизатори $N = 2$ зв'язані спільною мережею. В такому разі, кожен з них має по одному сусіду. Маршрутизатори, що під'єднані до тих, що розглядаються через інші мережі до переліку сусідів у даному разі не відносяться. Кожен з маршрутизаторів буде відправляти в

мережу hello пакет за адресою 224.0.0.5 – тобто, всім маршрутизаторам OSPF довжиною $l_{OSPFHello} = 44 + 4n_c = 44 + 4(N - 1)$ [байт], де кількість сусідів $n_c = N - 1 = 2 - 1 = 1$, через інтервал t_{hello} . Також, слід врахувати заголовок IP пакета l_{IP} та заголовок протоколу канального рівня $l_{кан}$, наприклад, Ethernet.

Отже, інтенсивність передачі періодичних повідомлень протоколу OSPF, враховуючи hello-інтервал, в загальному вигляді:

$$C_{helloOSPF} = N \cdot \frac{l_{OSPFHello} + l_{IP} + l_{кан}}{t_{hello}} \left[\frac{\text{байт}}{с} \right] \quad (2)$$

де N – кількість маршрутизаторів у спільній мережі IP, $l_{IP} = 20$ байт та $l_{кан} = 14$ байт в разі, якщо використовується Ethernet. Якщо підставити в (2) $l_{OSPFHello}$, визначене в (1), а також значення l_{IP} та $l_{кан}$, отримаємо:

$$C_{helloOSPF} = N \cdot \frac{78 + 4 \cdot N - 1}{t_{hello}} \left[\frac{\text{байт}}{с} \right] \quad (3)$$

Додаткова, не обов'язкова функція місцевої сигналізації LLS (Link-Local Signaling) [7], може збільшувати довжину пакета hello (в (1) та в (3) не враховується). Таким чином, інтенсивність передачі періодичних повідомлень пакетами hello є пропорційною кількості маршрутизаторів та обернено пропорційною інтервалу hello.

База даних станів каналів та база пересилки маршрутизатора. База пересилки маршрутизатора – це таблиця, що формується за алгоритмом Дейкстри на основі бази даних станів каналів та бази сусідніх маршрутизаторів та використовується для маршрутизації пакетів, що передаються. В протоколі OSPF існує два механізми заповнення бази даних станів каналів, що доповнюють один одного. Перший – описання бази даних новому маршрутизатору при його підключенні до існуючих маршрутизаторів. Другий – лавинна розсилка оновлень станів каналів усім маршрутизаторам у мережі.

Описання бази даних новому маршрутизатору відбувається наступним чином. При підключенні нового маршрутизатора OSPF до мережі, за допомогою пакетів hello, новий маршрутизатор дізнається про наявність інших маршрутизаторів OSPF у мережі. Далі між новим маршрутизатором та визначеним маршрутизатором починається обмін службовою інформацією в наступному порядку:

1. Визначений маршрутизатор направляє пакети DD (описання бази даних стану каналів) новому маршрутизатору. Перший пакет містить унікальне значення, яке при передачі кожного наступного пакета збільшується на одиницю. Наступні пакети містять заголовки повідомлень про стани каналів;
2. Новий маршрутизатор аналізує отриману інформацію та за допомогою пакетів LSR запитує у визначеного маршрутизатора повну інформацію про канали, які йому не відомі;
3. Визначений маршрутизатор надсилає інформацію, яка була запитана за допомогою пакетів LSU;
4. Новий маршрутизатор підтверджує отриману інформацію за допомогою пакетів LSAck.

Аналогічний обмін інформацією також відбувається в зворотному порядку. Після завершення цієї процедури обидва маршрутизатори за допомогою лавинної розсилки передають інформацію про нові канали в усі свої інтерфейси. Об'єм службової інформації, що буде використана, дорівнюватиме сумі довжин даних пакетів, враховуючи заголовки мережевого та канального рівнів. Виходячи із структури пакетів, описаних в [6], можливо визначити довжини пакетів DD, LSR, LSU, LSAck.

Структура пакета опису бази даних DD має наступний вигляд:

$$l_{DD} = l_{ospfheader} + l_{intMTU} + l_{options} + l_{flags} + l_{adsN} + (N_m + L) \cdot l_{LSAheader}$$

де: $l_{intMTU} = 2$ байти, $l_{options} = 1$ [байт], $l_{flags} = 1$ [байт] $l_{adsN} = 4$ [байти], $l_{LSAheader} = 20$ [байт], N_m – кількість маршрутизаторів у сегменті мережі, що описується, L – кількість транзитних IP-мереж у сегменті, що описується. Транзитною мережею вважається мережа, в якій існує два або більше маршрутизаторів. Отже:

$$l_{DD} = 32 + 20(N_m + L) \text{ [байт]} \quad (4)$$

Пакет запиту повідомлень про стан каналів LSR має наступну структуру:

$$l_{LSR} = l_{ospfheader} + (N_m + L) \cdot (l_{LStype} + l_{LSid} + l_{ADVrouter})$$

де:

$$l_{LStype} = 4 \text{ байти}, \quad l_{LSid} = 4 \text{ байти}, \quad l_{ADVrouter} = 4 \text{ байти}. \quad \text{Таким чином:}$$

$$l_{LSR} = 24 + 12(N_m + L) \text{ [байт]} \quad (5)$$

Пакет оновлення повідомлень про стан каналів LSU передає в собі повідомлення LSA і має структуру:

$$l_{LSU} = l_{ospfheader} + l_{LSAcount} + \sum_{i=1}^{N_m} l_{LSA-1i} + \sum_{j=1}^L l_{LSA-2j}$$

де $l_{LSAcount} = 4$ байт, l_{LSA-1} та l_{LSA-2} – довжини повідомлень про стан каналів, відповідно першого та другого типу. Підставивши числові значення отримаємо:

$$l_{LSU} = 28 + \sum_{i=1}^{N_m} l_{LSA-1i} + \sum_{j=1}^L l_{LSA-2j} \text{ [байт]}. \quad (6)$$

Пакет-підтвердження LSAck містить в собі перелік заголовків отриманих повідомлень про стан каналів. Його структура має наступний вигляд:

$$k_{LSAck} = l_{ospfheader} + N_m + L \cdot l_{LSAheader}, \text{ [байт]},$$

що після підстановки числових значень набуває вигляду:

$$l_{LSAck} = 24 + 20 N_m + L, \text{ [байт]}. \quad (7)$$

Інформація про топологію мережі передається в повідомленнях про стан каналів. При одно зоновій маршрутизації застосовуються повідомлення LSA першого та другого типу. Повідомлення про стан каналів першого типу описує маршрутизатор. Довжина даного повідомлення має наступну структуру:

$$l_{LSA-1} = l_{LSAage} + l_{options} + l_{LSAtype} + l_{LSAid} + l_{routerID} + l_{LSANumber} + l_{checksum} + l_{length} + l_{flags} + l_{chan.number} + n_{networks} \cdot (l_{chanID} + l_{chanDescr} + l_{chanType} + l_{TOS} + l_{TOSmetric})$$

де:

$$l_{LSAage} = 2 \text{ байти}, \quad l_{options} = 1 \text{ байт}, \quad l_{LSAtype} = 1 \text{ байт}, \quad l_{LSAid} = 4 \text{ байти},$$

$$l_{routerID} = 4 \text{ байти}, \quad l_{LSANumber} = 4 \text{ байти}, \quad l_{checksum} = 2 \text{ байти}, \quad l_{length} = 2 \text{ байти},$$

$$l_{flags} = 2 \text{ байти}, \quad l_{chan.number} = 2 \text{ байти}, \quad n_{chanal} - \text{кількість каналів маршрутизатора},$$

$$l_{chanID} = 4 \text{ байти}, \quad l_{chanDescr} = 4 \text{ байти}, \quad l_{chanType} = 1 \text{ байт}, \quad l_{TOS} = 1 \text{ байт},$$

$$l_{TOSmetric} = 2 \text{ байти}.$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$l_{LSA-1} = 24 + 12n_{chanal} \text{ [байт]} \quad (8)$$

Повідомлення про стан каналів другого типу описує транзитну мережу та має структуру:

$$l_{LSA2} = l_{LSAage} + l_{options} + l_{LSAtype} + l_{LSAid} + l_{routerID} + l_{LSANumber} + l_{checksum} + l_{length} + l_{networkMask} + n_{routers} \cdot l_{routerID},$$

$$\text{де: } l_{LSAage} = 2 \text{ [байти]}, \quad l_{options} = 1 \text{ [байт]}, \quad l_{LSAtype} = 1 \text{ [байт]}, \quad l_{LSAid} = 4 \text{ [байти]},$$

$$l_{routerID} = 4 \text{ [байти]}, \quad l_{LSANumber} = 4 \text{ [байти]}, \quad l_{checksum} = 2 \text{ [байти]}, \quad l_{length} = 2 \text{ [байти]},$$

$$l_{networkMask} = 4 \text{ [байти]}, \quad n_{routers} - \text{кількість маршрутизаторів в мережі}, \quad l_{routerID} = 4 \text{ байти}.$$

Після підстановки числових значень довжина даного повідомлення може бути обчислена за наступним виразом:

$$l_{LSA-2} = 24 + 4n_{routers} \text{ [байт]}. \quad (9)$$

Враховуючи порядок обміну пакетами при підключенні нового маршрутизатору, а також довжини пакетів та повідомлень про стан каналів, визначених виразами (4 – 9),

кількість службової інформації при підключенні нового маршрутизатора може бути обчислена за наступним виразом:

$$L_{\text{підключ}} = 280 + 52 N_{m1} + N_{m2} + L_1 + L_2 + \sum_{i=1}^{Nm1} l_{\text{LSA-1i}} + \sum_{j=1}^{L1} l_{\text{LSA-2j}} + \sum_{i=1}^{Nm2} l_{\text{LSA-1i}} + \sum_{j=1}^{L2} l_{\text{LSA-2j}} + 10(l_{\text{IP}} + l_{\text{кан}}) \text{ [байт]} \quad (10)$$

де N_{m1} – кількість маршрутизаторів, в існуючому сегменті мережі, L_1 – кількість транзитних IP-мереж в існуючому сегменті мережі, N_{m2} та L_2 – кількість маршрутизаторів та транзитних мереж, відомих новому маршрутизатору. Лавинна розсилка (flooding) застосовується маршрутизаторами OSPF для сповіщення інших маршрутизаторів про зміни в топології. Маршрутизатор, що віднайшов зміни в топології відправляє пакет LSU в усі свої інтерфейси за адресою 224.0.0.5 (всім маршрутизаторам OSPF). Маршрутизатори, що отримують даний пакет, пересилають його в усі інтерфейси окрім того, з якого він надійшов, та підтверджують отримання оновлень пакетом LSAck, що також надсилається за адресою 224.0.0.5. Таким чином, в IP-мережу при водонаповненні, буде надходити 1 пакет LSU та $N-1$ пакетів LSAck, де N – кількість маршрутизаторів в мережі IP, тобто:

$$L_{\text{flooding}} = l_{\text{LSU}} + l_{\text{ip}} + l_{\text{кан}} + (N - 1) \cdot (l_{\text{LSAck}} + l_{\text{ip}} + l_{\text{кан}}) \quad (11)$$

Дослідна перевірка отриманих виразів. Дослідження кількості службової інформації протоколу OSPF було проведено за допомогою моделювання роботи протоколу в пакеті GNS3. Мережа, яка була застосована для дослідження службової інформації, що використовується пакетами hello, складається із одного комутатора та змінної кількості маршрутизаторів, з'єднаних між собою через даний комутатор. Оскільки, об'єм пакетів hello залежить лише від кількості маршрутизаторів-сусідів, підключення інших мереж до маршрутизаторів не вплине на кількість службової інформації пакетів hello. Експериментальну мережу зображено на рисунку 1. Дослідження було проведено для кількості маршрутизаторів від одного до десяти із інтервалами $t_{\text{hello}} = 1, 5, 10$ та 15 с. Результат дослідження представлено в графічному вигляді на рисунку 2. Суцільною лінією представлено результат виміру, пунктирною – значення, обчислене за допомогою виразу (3).

Дослідження кількості службової інформації, створеної процедурою підключення нового маршрутизатору та процедурою лавинної розсилки було проведено за допомогою мережі довільної топології, зображеної на рисунку 3. Оскільки кількість службової інформації визначається кількістю маршрутизаторів та зв'язками між ними, вирази (10) та (11), можуть бути застосовані для мереж із різними топологіями. Під час дослідження було по чергово під'єднано сегменти 1, 2, 3 та 4 до решти мережі та виміряно кількість службової інформації, створеної протоколом OSPF при такому об'єднанні. Було виміряно як кількість службової інформації при описанні бази даних, так і при процедурі водонаповнення. Результат дослідження представлено в таблиці 1.

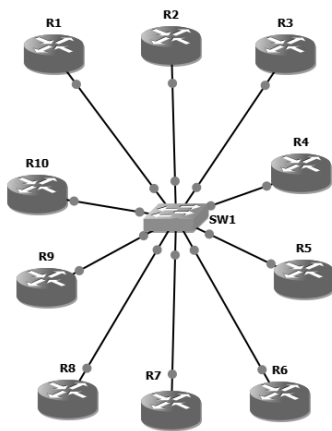


Рис.1. Дослідна мережа. R1-R10 – маршрутизатори OSPF. SW1 – комутатор, через які зв'язано маршрутизатори.

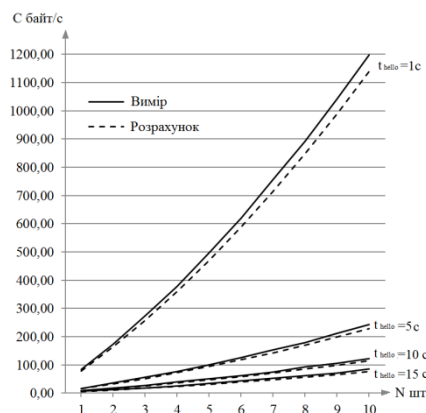


Рис. 2. Результат дослідження інтенсивності службової інформації, створеної пакетами hello. C – інтенсивність службової інформації. N – кількість маршрутизаторів в широкомовному домені.

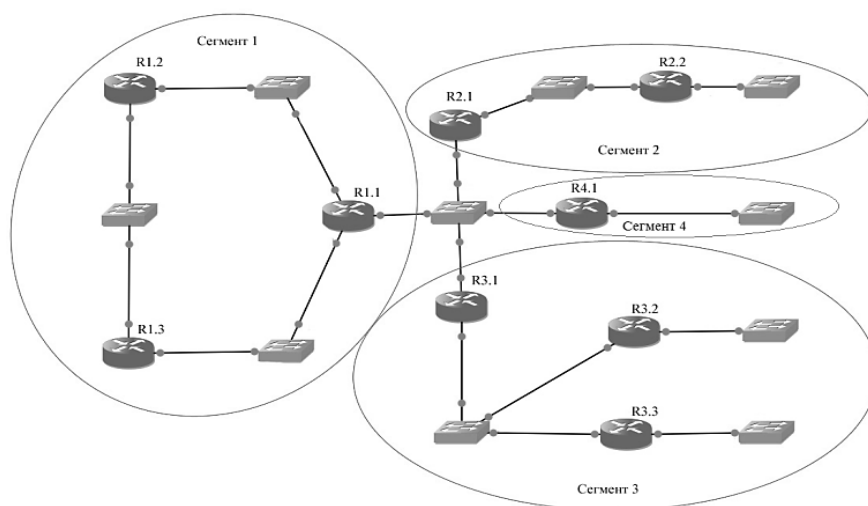


Рис.3. Дослідна мережа

Таблиця 1

**Результат дослідження кількості службової інформації протоколу OSPF
при описанні бази даних та лавинній розсилці**

Сегмент, що підключається	1		2		3		4	
	Розрах. [байт]	Вимір. [байт]	Розрах. [байт]	Вимір. [байт]	Розрах. [байт]	Вимір. [байт]	Розрах. [байт]	Вимір. [байт]
Опис бази даних	2168	1930	2152	2124	1932	1624	2032	2032
Лавинна розсилка в 1й сегмент	---	---	320	680	440	862	186	608
в 2й сегмент	564	938	---	---	440	752	186	498
в 3й сегмент	732	880	458	778	---	---	250	674

Аналіз отриманих результатів. Дослідження показали, що кількість службової інформації, яка регулярно створюється пакетами hello протоколу OSPF може бути описана виразом (3).

Незначне відхилення реального значення від розрахункового, що спостерігається на рисунку 2, може бути пояснене неточністю таймера маршрутизатора, що може бути як наслідком конструктивного недоліку так і введеним спеціально. Тобто, в залежності від якості тактового генератора маршрутизатора чи його налаштувань, може існувати відхилення реального значення t_{hello} від встановленого адміністратором мережі.

Вираз (10) можливо застосувати для орієнтовної оцінки кількості службової інформації протоколу OSPF при підключенні нового маршрутизатора.

Аналіз обміну пакетами між маршрутизаторами під час процедури лавинної розсилки вказує на те, що вираз (11) визначає мінімальний об'єм службової інформації, необхідний протоколу OSPF для процедури лавинної розсилки.

Значне відхилення кількості службової інформації процедури лавинної розсилки від розрахункового значення пояснюється тим, що маршрутизатор OSPF передає повідомлення про стан каналів далі в мережу відразу після їх отримання, не групуючи повідомлення в один пакет.

Це прискорює оновлення інформації про топології мережі на всіх маршрутизаторах OSPF, проте збільшує кількість дрібних пакетів LSU, що передаються в мережу. Це збільшує

не лише кількість заголовків протоколів мережевого та каналного рівнів а і кількість заголовків протоколу OSPF. Для зменшення кількості службової інформації протоколу OSPF при лавинній розсилці, можливо ввести групування повідомлень про стан каналів в один пакет LSU.

Висновки. В роботі представлені аналітичні вирази, що можуть бути застосовані для обчислення об'єму службової інформації протоколу OSPF. Дослідною частиною роботи підтверджено коректність отриманих виразів.

На практиці отримані формули можуть бути застосовані як розробниками обладнання так і інженерами експлуатації для визначення значень таймерів протоколу, з точки зору оптимізації швидкодії та кількості службової інформації, визначення максимального розміру зони OSPF при відомій пропускній здатності каналів, та швидкодії маршрутизаторів, аналітичного порівняння кількості службової інформації протоколу OSPF із кількістю службової інформації будь-якого іншого протоколу маршрутизації та ін.

В подальшому планується розробка аналітичних виразів кількості службової інформації протоколу IS-IS та порівняльне дослідження кількості службової інформації протоколу IS-IS із протоколом OSPF.

ЛІТЕРАТУРА

1. Палладин А. Cisco прогнозирует 26-кратный рост мирового мобильного трафика в период с 2010 по 2015 гг. <http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2011/020211b.html>.
2. SDH на закате // Стандарт. Выпуск №04(75) Апрель 2009. <http://www.comnews.ru/standart/article/52377>.
3. Макеев С.А., Алиев Т.И. Оптимизация конфигурируемых параметров маршрутизатора // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). Выпуск 10. Информация и управление в технических системах. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2003. – С. 91 – 94.
4. Галькевич А. В. Определение показателей эффективности протокола динамической маршрутизации OSPF. http://www.rusnauka.com/26_NII_2009/Informatica/51675.doc.htm.
5. Томас М. Томас П. Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF.2-е изд.. Москва. Санкт-Петербург. Киев 2004.
6. RFC 2328 «OSPF Version 2», April 1998.
7. RFC 5613 «OSPF Link-Local Signaling», August 2009.