

УДК 621.391

Максимов В. В., канд. техн. наук, доцент (Тел. +380 68 810 40 47. E-mail: maksimov46@ukr.net)

Панасюк М. С., магістрант (Тел. +380 97 288 37 29. E-mail: panasyukkolay@gmail.com)

(Національний технічний університет України «КПІ»), Інститут телекомунікаційних систем, м. Київ)

РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ СЛУЖБОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОТОКОЛІ OLSR

Максимов В. В., Панасюк М. С. Розрахунок кількості службової інформації в протоколі OLSR. В роботі представлено два принципово різні методи розрахунку кількості службової інформації, що передається в ad hoc мережі протоколом OLSR, а саме: метод розрахунку кількості службової інформації за прийнятими пакетами і метод розрахунку кількості службової інформації за переданими пакетами. Для оцінки адекватності кожного з методів використано програмний пакет NS-2, за допомогою якого змодельовано тестову мережу. Результати моделювання дозволяють зробити висновок, що обидві моделі заслуговують право на існування.

Ключові слова: ad hoc мережі, OLSR протокол, багато точковий ретранслятор, кількість службової інформації, моделювання, NS-2

Максимов В. В., Панасюк М. С. Расчет количества служебной информации в протоколе OLSR. В работе представлены два принципиально различных метода расчета количества служебной информации, передаваемой в ad hoc сети протоколом OLSR, а именно: метод расчета количества служебной информации по принятым пакетам и метод расчета количества служебной информации по переданным пакетам. Для оценки адекватности каждого из методов использован программный пакет NS-2, с помощью которого смоделирована тестовая сеть. Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что обе модели заслуживают право на существование.

Ключевые слова: ad hoc сети, OLSR протокол, много точечный ретранслятор, количество служебной информации, моделирование, NS-2.

1. Вступ. В роботі дослідження проводились над протоколом OLSR (Link State Routing Protocol), що був розроблений для мереж ad hoc спеціально як проактивний протокол маршрутизації, заснований на понятті багатоточкової ретрансляції MPR (MultiPoint Relay) [1].

Важливим показником ефективності роботи будь-якого протоколу маршрутизації для мереж ad hoc є кількість службової інформації, що передається в ній. Питанню зменшення кількості службової інформації, переданої в мережі протоколом OLSR, присвячено багато робіт.

Так в [2] для оцінки продуктивності протоколів HWMP і RA-OLSR (в порівнянні з оригінальним OLSR в RA-OLSR модифіковане управління енергоспоживанням і процедуру вибору вузлів MPR може задавати виробник пристрою) порівнювалися пропускна здатність, середні довжини шляхів (у кроках) від кінцевих вузлів до найближчого шлюзу та інші параметри. Показано, що у разі HWMP шляхи стають в півтора рази довше, пропускна здатність мережі знижується практично в 1,5 рази, число посилок пакетів даних у мережі на кожний доставлений пакет зростає на 10%, а час доставки пакетів - на 20% порівняно з RA-OLSR.

В [3] розглядається питання поширення службової інформації на основі проактивного і реактивного методів. Показано, що невдалий вибір одного з методів може привести до збільшення об'ємів службового трафіку, використання застарілої інформації і пропонується новий протокол маршрутизації. В [4] проводиться порівняння проактивного протоколу маршрутизації OLSR і реактивного AODV. У роботі показано, що в мережах з високою щільністю станцій і більшим числом користувальницьких потоків використання AODV, на відміну від OLSR, призводить до великого обсягу службового трафіку. В [5] розглядається ефективність роботи протоколу OLSR в каналі 5 МГц з точки зору оцінки різних параметрів, таких як доступність послуги маршрутизації і вартість надання даної послуги, доступність послуги передачі голосових даних. В [6,7] приводяться основні свідчення о протоколі OLSR.

Слід зазначити, що в усіх роботах нічого не сказано про кількість службової інформації і її розрахунок. Також до цього часу не розроблено єдиної методики проведення розрахунку службової інформації протоколу OLSR, яка може стати відправною точкою для подальшого дослідження і оптимізації роботи в напрямку зменшення її кількості.

Метою даної роботи є розробка методу розрахунку службової інформації протоколу OLSR.

При аналізі даної проблеми знайдено два принципово різні підходи для розрахунку службової інформації в протоколі OLSR: з точки зору прийнятих і переданих пакетів (в безпроводних мережах кількість переданих пакетів не дорівнює кількості прийнятих). З огляду на сказане розроблено два методи розрахунку кількості службової інформації, а також проведено порівняльний аналіз отриманих результатів за кожним методом з результатами моделювання.

Для проведення досліджень обрано топологію, яка складається з 15 вузлів N_0, N_1, \dots, N_{14} , (Рис. 1). Перевірка отриманих аналітичних виразів проводилась за допомогою симулятора NS-2 [8], час моделювання – 11,9с.

2. Метод розрахунку кількості службової інформації за прийнятими пакетами

2.1. Службова інформація, що передається hello повідомленнями

Повідомлення hello не пересилаються. Довжина повідомлення hello залежить від кількості сусідів вузла, що генерує повідомлення, і визначається за формулою:

$$l_{hello_i} = 8 + 4 \cdot N_i \text{ [байт]}, \text{ де } N_i \text{ – кількість сусідів } i\text{-го вузла.}$$

Окрім довжини повідомлення слід врахувати періодичність t_{hello} , з якою воно надсилається, а також довжини заголовків пакету OLSR, UDP протоколу (так як OLSR використовує UDP), IP протоколу та довжину кадру Ethernet (Рис. 2). Відповідно до RFC 3626 [1] за замовчуванням повідомлення hello надсилається з інтервалом $t_{hello} = 2$ с.

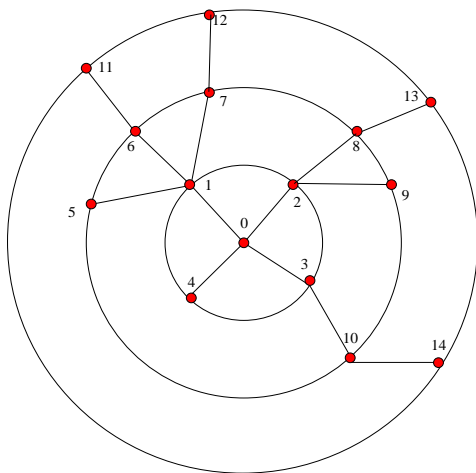


Рис. 1. Досліджувана топологія

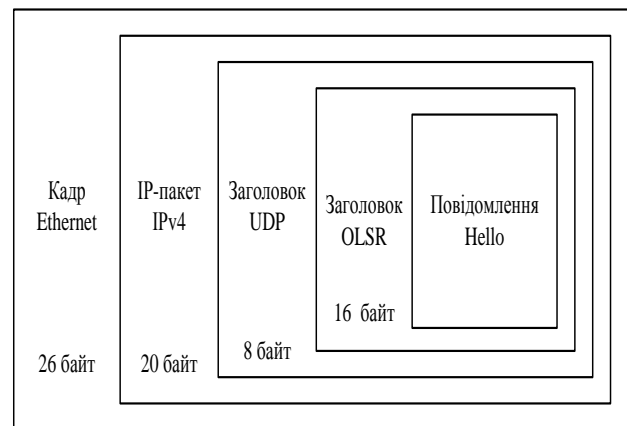


Рис. 2. Інкапсуляція повідомлення hello

Таким чином кількість службової інформації, що передається в мережі за одиницю часу hello повідомленнями:

$$C = \sum_{i=1}^{N_{olsr}} \frac{l_{hello} + l_{olsr} + l_{udp} + l_{ip} + l_{кан}}{t_{hello}}, \quad (1)$$

де N_{olsr} – загальна кількість вузлів в мережі, $l_{hello_i} = 8 + 4 \cdot N_i$, $l_{olsr} = 16$ [байт], $l_{udp} = 8$ [байт], $l_{ip} = 20$ [байт], $l_{кан} = 26$ [байт], $t_{hello} = 2$ с.

Зауваження 1. Формула (1) показує кількість службової інформації, що передається кадром Ethernet, в який інкапсульовано повідомлення hello з заголовками відповідних рівнів стеку протоколів TCP/IP, а не самим повідомленням hello. Далі під повідомленням матиметься на увазі весь кадр, що переносить повідомлення hello.

Підставивши числові значення довжин заголовків пакетів, формула кількості службової інформації, що передається в мережі за одиницю часу hello-повідомленнями, в загальному вигляді прийме вид:

$$C_{hello} = \sum_{i=1}^{N_{olsr}} \frac{8+4 \cdot N_i + 16+8+20+26}{2} = \sum_{i=1}^{N_{olsr}} \frac{78+4 \cdot N_i}{2} = \sum_{i=1}^{N_{olsr}} (39+2 \cdot N_i),$$

$$C_{hello} = 39 \cdot N_{olsr} + 2 \cdot \sum_{i=1}^{N_{olsr}} N_i. \quad (2)$$

Також треба врахувати те, що при початковому включенні всіх вузлів в мережі вони не будуть знати нічого один про одного, а лише анонсуватимуть інформацію про себе. Так як періодичність розсилки hello повідомлень становить 2 секунди, то від 0 до 2 секунди довжина hello повідомлень становитиме $l_{hello_i} = 8$ [байт], а після 2 секунди становитиме вже $l_{hello_i} = 8+4 \cdot N_i$ [байт]. Це цілком справедливо для стаціонарної мережі.

Отже, загальна кількість службової інформації, що передається hello повідомленнями становить: $C_{hello} = C_{hello1} + C_{hello2}$, де C_{hello1} – службова інформація від hello повідомлень від 0 до 2 секунди, C_{hello2} – службова інформація від hello повідомлень після 2 секунди.

Розрахуємо цей показник. Загальна кількість вузлів в мережі $N_{olsr} = 15$ (Рис. 1) Кількість сусідів кожного з вузлів: $N_0 = 4$, $N_1 = 4$, $N_2 = 3$, $N_3 = 2$, $N_4 = 1$, $N_5 = 1$, $N_6 = 2$, $N_7 = 2$, $N_8 = 2$, $N_9 = 1$, $N_{10} = 2$, $N_{11} = 1$, $N_{12} = 1$, $N_{13} = 1$, $N_{14} = 1$.

Час моделювання в NS-2 становить 11,9 секунди. Це означає, що за цей час кожен з вузлів в мережі встигне відправити по 6 hello повідомлень: одне тільки з інформацією про себе, інші з інформацією про сусідів.

$$C_{hello1} = 39 \cdot N_{olsr} = 39 \cdot 15 = 585 \text{ [байт];}$$

$$C_{hello2} = (39 \cdot N_{olsr} + 2 \cdot \sum_{i=1}^{N_{olsr}} N_i) \cdot 2.5 = (39 \cdot 15 + 2(4+4+3+2+1+1+2+2+2+1+2+1+1+1+1)) \cdot 2.5 = 6410 \text{ [байт].}$$

$$C_{hello} = 585 + 6410 = 6995 \text{ [байт].}$$

2.2. Службова інформація, що передається ТС повідомленнями

Довжина повідомлення ТС, згенерованого i -м вузлом, становить: $l_{TC_i} = 4 + 4 \cdot N_{MSi}$ [байт], де N_{MSi} – кількість вузлів у MS наборі i -го вузла.

Відповідно до RFC 3626 [1] за замовчуванням повідомлення ТС надсилається з інтервалом $t_{TC} = 5$ с. В загальному вигляді сумарна кількість повідомлень в мережі залежить від того, скільки вузлів обрали вузол, що генерує повідомлення ТС, у якості MPR. Вузол Y буде пересилати повідомлення ТС, яке він отримав від сусіда X , лише в тому випадку, якщо вузол Y є ретранслятором вузла X .

Кількість службової інформації, що передається в мережі за одиницю часу повідомленнями ТС з урахуванням довжин заголовків, дорівнюватиме:

$$C_{TC} = \sum_{i=1}^{N_{MPR}} N_{TC_i} \frac{4+4 \cdot N_{MSi} + 16+8+20+26}{5} = \sum_{i=1}^{N_{MPR}} N_{TC_i} \frac{74+4 \cdot N_{MSi}}{5}, \quad (3)$$

де N_{MPR} – загальна кількість вузлів в мережі, що були обрані у якості MPR; N_{MSi} – кількість вузлів у MS наборі i -го вузла; N_{TC_i} – кількість копій, що пересилаються MPR вузла i , залежить від кількості сусідів та вузлів, що знаходяться у наборах цих MPR:

$$N_{TC_i} = N_i + \sum_{k=1}^l (N_{MS_k} - 1), \quad (4)$$

де N_i – кількість сусідів, що отримали ТС-повідомлення від вузла i ; N_{MS_k} – кількість вузлів в MS наборі MPR вузла k .

Узагальнимо інформацію про вибрані MPR та набір MS вузлів, для яких генеруються керуючі повідомлення ТС, записавши наступну залежність для кожного вузла мережі на Рис. 1 (Табл. 1):

Табл. 1

MPR(0) = { 1, 2, 3 }	MS(0) = { 1, 2, 3, 4 }	MPR(8) = { 2 }	MS(8) = { 13, 2 }
MPR(1) = { 0, 6, 7 }	MS(1) = { 0, 5, 6, 7 }	MPR(9) = { 2 }	MS(9) = { }
MPR(2) = { 0, 8 }	MS(2) = { 0, 8, 9 }	MPR(10) = { 3 }	MS(10) = { 14, 3 }
MPR(3) = { 0, 10 }	MS(3) = { 0, 10 }	MPR(11) = { 6 }	MS(11) = { }
MPR(4) = { 0 }	MS(4) = { }	MPR(12) = { 7 }	MS(12) = { }
MPR(5) = { 1 }	MS(5) = { }	MPR(13) = { 8 }	MS(13) = { }
MPR(6) = { 1 }	MS(6) = { 11, 1 }	MPR(14) = { 10 }	MS(14) = { }
MPR(7) = { 1 }	MS(7) = { 12, 1 }		

Розрахуємо кількість службової інформації від ТС повідомлень за час моделювання 11,9 сек.

Кількість службової інформації, що передається кожним вузлом в мережі за одиницю часу повідомленнями ТС становить:

$$C_{TC_0} = N_{tc_0} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_0}}{5} = (N_0 + N_{MS_1} + N_{MS_2} + N_{MS_3} + N_{MS_6} + N_{MS_7} + N_{MS_8} + N_{MS_{10}} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_0}}{5} = (4 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 4}{5} = 252 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right];$$

$$C_{TC_1} = N_{tc_1} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_1}}{5} = (N_1 + N_{MS_6} + N_{MS_7} + N_{MS_{10}} + N_{MS_2} + N_{MS_8} + N_{MS_3} + N_{MS_{10}} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_1}}{5} = (4 + 2 + 2 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 4}{5} = 252 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right];$$

$$C_{TC_2} = N_{tc_2} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_2}}{5} = (N_2 + N_{MS_8} + N_{MS_{10}} + N_{MS_3} + N_{MS_{10}} + N_{MS_1} + N_{MS_6} + N_{MS_7} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_2}}{5} = (3 + 2 + 4 + 2 + 2 + 4 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 3}{5} = 240,8 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right];$$

$$C_{TC_3} = N_{tc_3} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_3}}{5} = (N_3 + N_{MS_0} + N_{MS_{10}} + N_{MS_2} + N_{MS_8} + N_{MS_1} + N_{MS_6} + N_{MS_7} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_3}}{5} = (2 + 4 + 2 + 3 + 2 + 4 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 229,6 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right];$$

$$C_{TC_6} = N_{tc_6} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_6}}{5} = (N_6 + N_{MS_1} + N_{MS_7} + N_{MS_0} + N_{MS_2} + N_{MS_8} + N_{MS_3} + N_{MS_{10}} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_6}}{5} = (2 + 4 + 2 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 229,6 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right];$$

$$C_{TC_7} = N_{tc_7} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_7}}{5} = (N_7 + N_{MS_1} + N_{MS_6} + N_{MS_0} + N_{MS_2} + N_{MS_8} + N_{MS_3} + N_{MS_{10}} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_7}}{5} = (2 + 4 + 2 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 229,6 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right];$$

$$C_{TC_8} = N_{tc_8} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_8}}{5} = (N_8 + N_{MS_1} + N_{MS_7} + N_{MS_0} + N_{MS_2} + N_{MS_6} + N_{MS_3} + N_{MS_{10}} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_8}}{5} = (2 + 4 + 2 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 229,6 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right];$$

$$C_{TC_{10}} = N_{tc_{10}} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_{10}}}{5} = (N_{10} + N_{MS_1} + N_{MS_7} + N_{MS_0} + N_{MS_2} + N_{MS_6} + N_{MS_3} + N_{MS_8} - 7) \times \\ \times \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_{10}}}{5} = (2 + 4 + 2 + 4 + 3 + 2 + 2 + 2 - 7) \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 229,6 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right].$$

Сумарна кількість службової інформації, що передається в мережі за одиницю часу пакетами ТС:

$$C_{TC} = \sum_{i=1}^{N_{MPR}} N_{tc_i} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_i}}{5} = C_{TC_0} + C_{TC_1} + C_{TC_2} + C_{TC_3} + C_{TC_6} + C_{TC_7} + C_{TC_8} + C_{TC_{10}} = \\ = 252 + 252 + 240,8 + 229,6 + 229,6 + 229,6 + 229,6 + 229,6 = 1892,8 \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right].$$

За час моделювання, що становить 11,9 сек, кожен MPR вузол згенерує по 2 ТС повідомлення, тому кількість службової інформації за даний час становитиме:

$$C_{TC} = 1892,8 \cdot 5 \cdot 2 = 18928 \text{ [байт]}$$

Вся службова інформація в мережі становить:

$$CR = C_{hello} + C_{TC} = 6995 + 18928 = 25923 \text{ [байт]}.$$

2.3. Моделювання досліджуваної топології в NS-2

Перевірка достовірності розробленого методу розрахунку кількості службової інформації за прийнятими пакетами проведено за допомогою програмного пакету NS-2. Для цього був написаний вихідний код [8], що описує досліджувану топологію і проведено моделювання, результатом якого є згенерований трейс-файл, який був проаналізований за допомогою програмного інструменту Tracetrace202. На Рис. 3, 4 наведені мережа в NS-2 і топологія для моделювання, на Рис. 5 наведено інформацію за результатами моделювання.

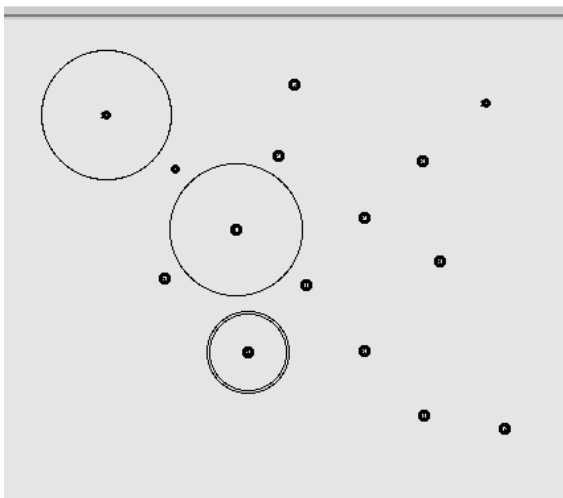


Рис. 3. Мережа в NS-2

Options	Network information
Simulation information:	
Simulation length in seconds:	11.78679814
Number of nodes:	15
Number of sending nodes:	15
Number of receiving nodes:	0
Number of generated packets:	137
Number of sent packets:	137
Number of forwarded packets:	0
Number of dropped packets:	2
Number of lost packets:	0
Minimal packet size:	48
Maximal packet size:	202
Average packet size:	89.2512
Number of sent bytes:	17114
Number of forwarded bytes:	0
Number of dropped bytes:	284
Packets dropping nodes:	0 1

Рис. 5. Інформація за результатами моделювання

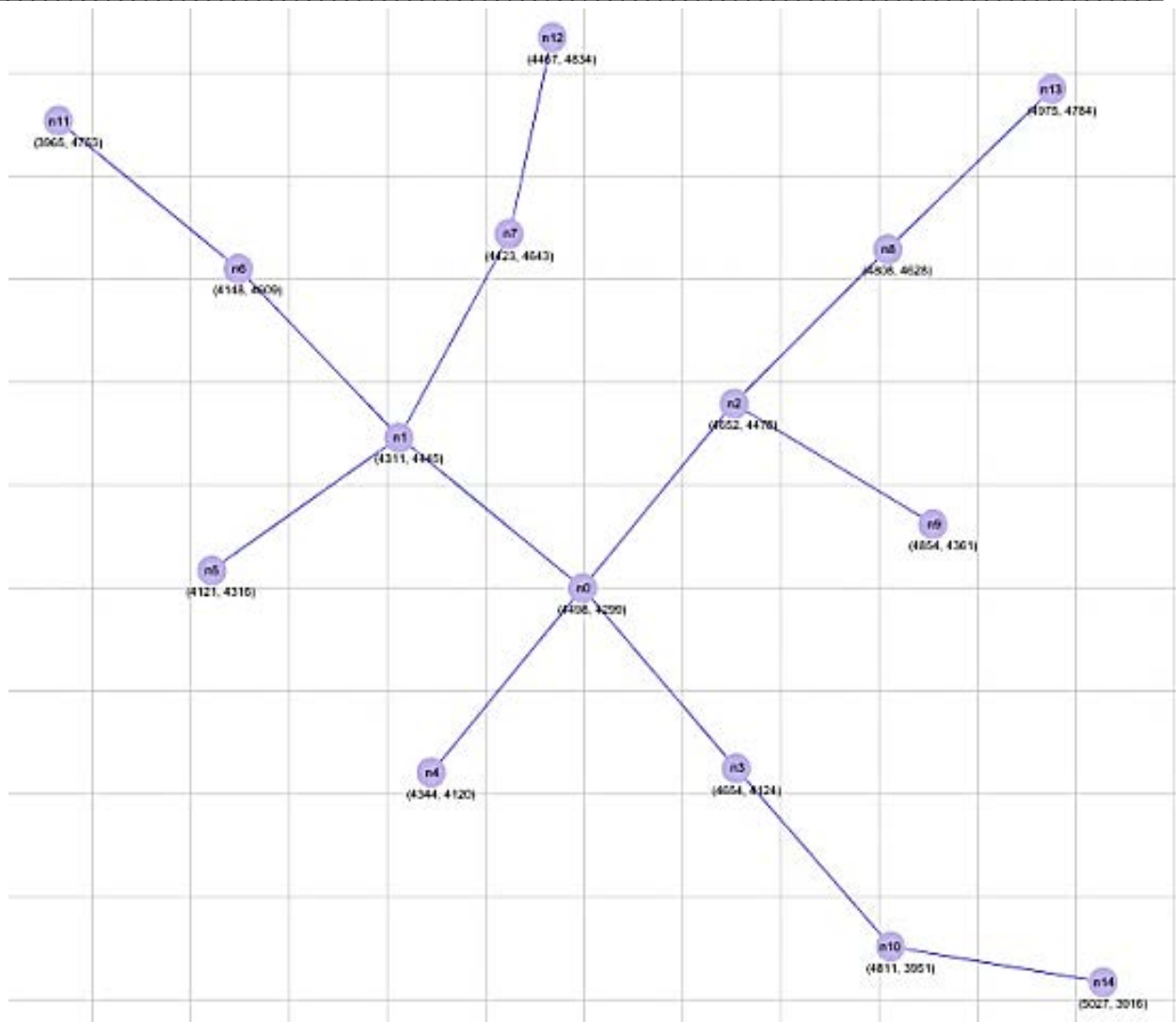


Рис. 4. Топологія для моделювання

На нижченаведеній вибірці MPR з трейс-файлу видно, що вузли та їх набір MS повністю співпадають із визначеними теоретично:

P 11.800000 _0_ MPR Set	P 1
P nb	P 11.800000 _6_ MPR Selector Set
P 1	P nb time
P 2	P 11 16.707320
P 3	P 1 16.154132
P 11.800000 _0_ MPR Selector Set	P 11.800000 _7_ MPR Set
P nb time	P nb
P 1 16.154132	P 1
P 2 16.594298	P 11.800000 _7_ MPR Selector Set
P 3 16.743233	P nb time
P 4 16.772421	P 1 16.154132
P 11.800000 _1_ MPR Set	P 12 16.509503
P nb	P 11.800000 _8_ MPR Set
P 0	P nb
P 6	P 2
P 7	P 11.800000 _8_ MPR Selector Set
P 11.800000 _1_ MPR Selector Set	P nb time
P nb time	P 2 16.594298
P 7 17.787408	P 13 16.552082
P 5 17.632084	P 11.800000 _9_ MPR Set
P 0 16.575484	P nb

P 6 17.198415	P 2
P 11.800000 _2_ MPR Set	P 11.800000 _9_ MPR Selector Set
P nb	P nb time
P 0	P 11.800000 _10_ MPR Set
P 8	P nb
P 11.800000 _2_ MPR Selector Set	P 3
P nb time	P 11.800000 _10_ MPR Selector Set
P 8 16.414378	P nb time
P 9 16.949561	P 3 16.743233
P 0 16.575484	P 14 17.141414
P 11.800000 _3_ MPR Set	P 11.800000 _11_ MPR Set
P nb	P nb
P 0	P 6
P 10	P 11.800000 _11_ MPR Selector Set
P 11.800000 _3_ MPR Selector Set	P nb time
P nb time	P 11.800000 _12_ MPR Set
P 0 16.575484	P nb
P 10 16.082026	P 7
P 11.800000 _4_ MPR Set	P 11.800000 _12_ MPR Selector Set
P nb	P nb time
P 0	P 11.800000 _13_ MPR Set
P 11.800000 _4_ MPR Selector Set	P nb
P nb time	P 8
P 11.800000 _5_ MPR Set	P 11.800000 _13_ MPR Selector Set
P nb	P nb time
P 1	P 11.800000 _14_ MPR Set
P 11.800000 _5_ MPR Selector Set	P nb
P nb time	P 10
P 11.800000 _6_ MPR Set	P 11.800000 _14_ MPR Selector Set

$CM = 17114$ [байт] – службова інформація в мережі за результатами моделювання,

$CR = 25923$ [байт] – службова інформація в мережі згідно методу розрахунку за прийнятими пакетами.

Відносна похибка обчислень становить:

$$\lambda = \frac{CT - CM}{CM} \cdot 100\% = \frac{25923 - 17114}{17114} \cdot 100\% = 51,42\%$$

Як бачимо, ми отримали за теоретичними розрахунками більшу кількість службової інформації, ніж за результатами моделювання (відносна похибка розрахунку складає 51%). Така велика похибка може бути пояснена тим, що нашому аналізатору трейс-файлів доступний розрахунок тільки за переданими пакетами. Це означає, що підраховуються тільки ті пакети, що відправляються вузлом. Зауважимо, що у нашому випадку кількість переданих пакетів не дорівнює кількості прийнятих. В процесі моделювання також було помічено, що а) заголовки пакетів в NS-2 дещо відрізняються від тих, що наведені в літературі [6] і б) використовується системний заголовок Common-header, який формується в процесі моделювання і довжина якого постійно змінюється, що також може викликати розбіжність.

Для перевірки даних висновків розроблена методика розрахунку кількості службової інформації за переданими пакетами.

3. Метод розрахунку кількості службової інформації за переданими пакетами

3.1. Службова інформація, що передається Hello повідомленнями

Алгоритм розрахунку кількості службової інформації для повідомлень hello аналогічний до першого методу і для нашої мережі становить $C_{hello} = 6995$ [байт].

3.2. Службова інформація, що передається ТС повідомленнями

Довжина повідомлення ТС, згенерованого i -м вузлом становить:

$l_{TC_i} = 4 + 4 \cdot N_{MSi}$ [байт], де N_{MSi} – кількість вузлів у MS наборі i -го вузла.

Відповідно до RFC 3626 [1] за замовчуванням повідомлення TC надсилається з інтервалом $t_{TC} = 5c$. В загальному вигляді сумарна кількість повідомлень в мережі залежить від того, скільки вузлів обрали вузол, що генерує повідомлення TC, у якості MPR. Вузол Y буде пересилати повідомлення TC, яке він отримав від сусіда X , лише в тому випадку, якщо вузол Y є ретранслятором вузла X .

Кількість службової інформації, що передається в мережі за одиницю часу для TC повідомлень для мережі дорівнюватиме:

$$C_{TC} = \sum_{i=1}^{N_{MPR}} N_{TC_i} \frac{4 + 4 \cdot N_{MSi} + 16 + 8 + 20 + 26}{5} = \sum_{i=1}^{N_{MPR}} N_{TC_i} \frac{74 + 4 \cdot N_{MSi}}{5}, \quad (5)$$

де N_{MPR} – загальна кількість вузлів в мережі, що були обрані у якості MPR;

N_{MSi} – кількість вузлів у MS наборі i -го вузла;

N_{TC_i} – кількість копій, що дорівнює кількості MPR вузлів в мережі.

Кількість службової інформації від TC повідомлень за одиницю часу.

$$C_{TC_0} = N_{TC_0} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_0}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 4}{5} = 144 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right];$$

$$C_{TC_1} = N_{TC_1} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_1}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 4}{5} = 144 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right];$$

$$C_{TC_2} = N_{TC_2} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_2}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 3}{5} = 137,6 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right];$$

$$C_{TC_3} = N_{TC_3} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_3}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 131,2 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right];$$

$$C_{TC_6} = N_{TC_6} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_6}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 131,2 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right];$$

$$C_{TC_7} = N_{TC_7} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_7}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 131,2 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right];$$

$$C_{TC_8} = N_{TC_8} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_8}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 131,2 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right];$$

$$C_{TC_{10}} = N_{TC_{10}} \frac{74 + 4 \cdot N_{MS_{10}}}{5} = 8 \cdot \frac{74 + 4 \cdot 2}{5} = 131,2 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right].$$

Сумарна кількість службової інформації, що передається в мережі за одиницю часу пакетами TC:

$$\begin{aligned} C_{TC} &= \sum_{i=1}^{N_{MPR}} N_{TC_i} \frac{74 + 4 \cdot N_{MSi}}{5} = C_{TC_0} + C_{TC_1} + C_{TC_2} + C_{TC_3} + C_{TC_6} + C_{TC_7} + C_{TC_8} + C_{TC_{10}} = \\ &= 144 + 144 + 137,6 + 131,2 + 131,2 + 131,2 + 131,2 + 131,2 = 1082 \left[\frac{\text{байт}}{c} \right]. \end{aligned}$$

За час моделювання, що становить 11,9 сек, кожен MPR вузол згенерує по 2 TC повідомлення, тому кількість службової інформації за цей час становитиме:

$$C_{TC} = 1082 \cdot 5 \cdot 2 = 10820 \text{ [байт]}.$$

Вся службова інформація в мережі становить:

$$CT = C_{hello} + C_{TC} = 6995 + 10820 = 17820 \text{ [байт]}.$$

Відносна похибка обчислень становить:

$$\lambda = \frac{CT - CM}{CM} \cdot 100\% = \frac{17820 - 17114}{17820} \cdot 100\% = 3,96\%.$$

Як бачимо отриманий результат за другим методом значно ближчий до результатів моделювання, що дає підстави вважати, що розроблений метод розрахунку є логічним та адекватним.

4. Висновки. За результатами проведеної роботи розроблено 2 принципово різні методи розрахунку кількості службової інформації, що передається в ad hoc мережі протоколом OLSR, а саме:

- метод розрахунку кількості службової інформації за прийнятими пакетами;
- метод розрахунку кількості службової інформації за переданими пакетами.

В основу першого методу покладено ідею того, що сумарна кількість службової інформації дорівнює сумі розмірів у байтах всіх прийнятих пакетів кожним вузлом в мережі, в той час як у другій моделі – сумі всіх пакетів у байтах переданих кожним вузлом в мережі.

Для оцінки адекватності кожного з методів було використано програмний пакет NS-2, за допомогою якого змодельовано тестову мережу. При порівнянні отриманих результатів можна зробити висновок, що обидві моделі заслуговують право на існування.

Так для першого методу велика відносна похибка обчислень в 34% пояснюється тим, що аналізатору трейс-файлів доступний розрахунок тільки за переданими пакетами, тобто підраховуються тільки ті пакети, що відправляються вузлом. Крім того помічено, що заголовки пакетів в NS-2 дещо відрізняються від тих, що наведені в літературі, а також використовується системний заголовок Common-header, який формується в процесі моделювання і довжина якого постійно змінюється.

Для другого методу встановлено, що відносна похибка обчислень складає 4%. Розбіжності в першу чергу пояснюються особливостями роботи NS-2, який використовує дещо модифіковані заголовки, а також додає власний службовий заголовок Common-header.

Література

1. Clausen T. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) / T. Clausen, P. Jacquet // IETF RFC 3626. – October 2003.
2. Вишнеvский В. Маршрутизация в широкополосных беспроводных MESH-сетях стандарта 802.11 s / В. Вишнеvский, Д. Лаконцев, А. Сафонов, С. Шпилев // Электроника: НТБ. – 2008. – №6. – С.64–69.
3. Ляхов А. И. Анализ совместного использования проактивного и реактивного методов распространения сетевой информации в многошаговых беспроводных сетях / А. И. Ляхов, П. О. Некрасов, Д. М. Островский, А. А. Сафонов, Е. М. Хоров // Информационные процессы. – 2012. – Том 12, №3. – С. 198-212.
4. Jerome Haerri, Fethi Filali, Christian Bonnet, "Performance Comparison of AODV and OLSR in VANETs Urban Environments under Realistic Mobility Patterns", Med-Hoc-Net 2006, 5th IFIP Mediterranean Ad-Hoc Networking Workshop, June 14-17, Lipari, Italy.
5. Сафонов А. А. Анализ эффективности протокола OLSR в канале 5МГц / А. А. Сафонов, Е. М. Хоров, А. Н. Красилов // Труды конференции «Информационные технологии и системы (ИТиС-2010)», Геленжик, Россия. – 2010. – С.11-19.
6. Олифер В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н. Олифер. – 4-е изд. – 2010.
7. Маршрутизация в беспроводных самоорганизующихся сетях. Плоские протоколы: учебное пособие/ Д. Е. Прозоров и др. – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014. – 98 с.
8. The Network Simulator NS-2: Documentation [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html> - мануал по NS-2

Дата надходження в редакцію: 25.03.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А. І. Семенко