УДК 621.382

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ КІЛЬКОСТІ БАГАТОТОЧКОВИХ РЕТРАНСЛЯТОРІВ ПРОТОКОЛУ OLSR

Максимов В.В.
Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: maksimov46@ukr.net

Experimental study of the upper limit of the nodes-repeaters amount in the OLSR protocol

In this article the probability of the location of nodes with two jumps on the boundary of a circle of radius 2R is determined. Proved that, regardless of the network density, each two-hop node that is on the border of a 2R circle requires its own MPR node.

В даній роботі дослідження проводилось над протоколом Link State Routing Protocol (OLSR), що був розроблений для мереж ad hoc спеціально як проактивний протокол, заснований на понятті багатоточкової ретрансляції MPR (MultiPoint Relay) [1]. Воно означає, що кожен вузол мережі m вибирає декілька вузлів з числа своїх сусідів (вузлів, з якими у нього встановлено з'єднання). У підсумку в мережі формується набір вузлів MPR(m) таким чином, що всі вузли, що знаходяться в сфері з радіусом 2 кроки від вузла m (сусіди сусідів), мають симетричні канали з MPR(m). Для кожного MPR формується список сусідніх вузлів, що вибрали його в якості MPR, – список MPR Selectors (MPRS). У мережу у TC-пакетах передається тільки інформація про стан з'єднань між MPR і його MPRSs, що дозволяє істотно знизити число передач службових пакетів в порівнянні з лавинною розсилкою. З сказаного випливає, що кількість службової інформації, яка передається разом з корисним трафіком, в протоколі OLSR на пряму залежить від кількості MPR вузлів.

В [2, 3] наведена теорема, що дозволяє визначити верхню межу D_N кількості MPR вузлів для мережі. Враховуючи, що щільність мережі $D = \frac{N}{L^2}$, N – кількість вузлів в мережі на площі, обмеженій сторонами квадрату $L = 4R$, $R = 1$ – максимальний радіус дії одного вузла, дану теорему можна записати наступним чином:

<u>Теорема 1а</u>. Якщо L фіксовано та N росте, то верхня межа кількості MPR вузлів

$$D_N \text{ при } \theta \leq \frac{2\pi}{3} \text{ менше, ніж } D_N < \frac{3\pi}{2}\left(\frac{N}{6}\right)^{\frac{1}{3}}, \tag{1}$$

$$\text{а при } \theta > \frac{2\pi}{3} \text{ менше, ніж } D_N < 3\pi\frac{N}{16} + 3\pi\left(\frac{N}{48}\right)^{\frac{1}{3}}\left(1 - \pi\frac{N}{16}\right)^{\frac{2}{3}}, \tag{2}$$

де θ – кут між сусідніми MPR вузлами.

Результати моделювання. Для перевірки працездатності теореми в

Network Simulator 2 (NS-2) розглядались три типи мереж з різною кількістю вузлів: «сітка», «стрічка» і «довільна». Вузли розміщувались в межах площі, обмеженої ребрами квадрата з L=80 м. Для кожного варіанту мережі було знайдено верхню межу кількості MPR вузлів за формулами (1), (2) і згідно NS-2. Результати моделювання підтверджують працездатність теореми: у всіх розглянутих випадках реальна кількість MPR вузлів завжди менша максимальної кількості MPR вузлів, що визначається згідно теореми про верхню межу. За результатами моделювання теорему можна записати в наступному вигляді:

<u>Теорема 1б</u>. Якщо L фіксовано та N росте, то верхня межа кількості MPR вузлів

$$D_N \text{ при } \theta \leq \frac{2\pi}{3} \text{ менше ніж } \frac{3\pi}{2}\left(\frac{N}{6}\right)^{\frac{1}{3}}, \text{ а при } \theta > \frac{2\pi}{3} \text{ дорівнює 2.} \quad (3)$$

***<u>Доказ</u>*.** На колі в 360° не можливо розмістити більше двох MPR вузлів, кут між якими був би більшим 120°, інакше випадок описується формулою (1) для $\theta \leq \frac{2\pi}{3}$ ■ .

Відхилення від теоретичних розрахунків. Знайдено випадки, коли розрахунки за формулою (1) дають результат, який не співпадає з результатами моделювання. Це справедливо для мереж з топологією, в якій кожний односкачковий вузол відносно центрального вузла є MPR вузлом для двоскачкового вузла відносно центрального. Відхилення результатів моделювання від теоретичних розрахунків пояснюється тим, що доказ теореми проводився при інших умовах, а саме: процес вибору MPR вузлів складається з вибору вузлів, які знаходяться на відстані прийому сигналів, тобто ближче до границі кола R. MPR вузли покривають більшість сусідів на відстані двох сачків (тобто в кільці з радіусами R і $2R$; щільність мережі висока і MPR вузли знаходяться фактично на межі R. За результатами моделювання можна сформулювати наступне доповнення до теореми:

<u>Теорема 1в</u>. Незалежно від щільності мережі кожен двоскачковий вузол, що знаходиться на межі кола $2R$, потребує свого MPR вузла, який повинен знаходитися на перетині кола радіусом R і лінії радіуса $2R$, що проходить через центральний вузол і даний двоскачковий вузол.

***<u>Доказ</u>*.** Двоскачковий вузол, який знаходиться на межі кола $2R$, може перебувати в зоні прийому MPR вузла, який знаходиться на межі кола R, лише в одному випадку: коли MPR вузол знаходитися на перетині кола радіусом R і лінії радіуса $2R$, що проходить через центральний вузол і даний двоскачковий вузол. Лише в цьому випадку зона дії MPR вузла дотична до кола $2R$ в єдиній точці, а саме в точці, де знаходиться двоскачковий вузол ■ .

***<u>Наслідок</u>*.** Для даної топології мереж кількість MPR вузлів в точності дорівнює кількості двоскачкових вузлів, які знаходяться точно на межі кола $2R$.

Імовірність знаходження двоскачкових вузлів на межі кола 2R. Дану імовірність знайдемо як геометричну імовірність попадання двоскачкових вузлів в непокриту площу прийому сигналів односкачкових MPR вузлів при прагненні непокритої площі до нуля, тобто до виродження її в коло радіуса 2R.

Для розглянутих випадків імовірність запишемо як $\mathrm{p} = \frac{S_{\text{непокр}}}{S_{\text{кільця}}}$, де для одного MPR вузла $S_{\text{непокр}} = S(\theta) = R^2(\theta - \sin\theta)$, $\theta \leq \frac{2\pi}{N_{MPR1}}$; N_{MPR1} – кількість односкачкових MPR вузлів, $S_{\text{кільця}}$ – площа кільця, обмеженого радіусами R і 2R, яка дорівнює $S_{\text{кільця}} = \pi(4R^2 - R^2) = 3\pi R^2$. Тоді імовірність знаходження двоскачкових вузлів на межі кола 2R запишемо як

$$\mathrm{p} = \frac{N_{MPR1}}{3\pi}\left(\frac{2\pi}{N_{MPR1}} - \sin\frac{2\pi}{N_{MPR1}}\right). \quad (4)$$

Розрахунки показують, що імовірність розташування двоскачкових вузлів на межі кола радіусом $2R$ швидко зменшується: Так для 17 вузлів (8 MPR вузлів) можливі 7 випадків зі 100, для 33 вузлів (16 MPR) - 2 випадки зі 100, для 65 (32 MPR) – 5 випадків з 1000. При цьому внутрішній радіус еквівалентного кільця для 17 вузлів відрізняється від зовнішнього на 0,0053 (ε =0,26%) , для 33 вузлів – на 0,0013 (ε =0,07%), для 65 – на 0,0003 (ε =0,02%).

Висновки.

1. Результати моделювання показали, що реальна кількість MPR вузлів завжди менша її верхньої межі і дозволили спростити теорему про верхню межу MPR вузлів.

2. Відхилення результатів моделювання від теоретичних розрахунків пояснюється тим, що умови доказу теореми не враховували розташування двоскачкових вузлів точно на межі кола 2R. Доведено відповідну теорему.

3. Знайдено аналітичний вираз імовірності розташування двоскачкових вузлів точно на межі кола радіусом 2R. Показано, що вона швидко зменшується: так для 8 MPR вузлів імовірність складає 7%, 16 MPR – 2%, 32 MPR – 0,5%.

Література

1. T. Clausen, P. Jacquet , Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), // Institute national de recherche en informatique et en automatique, Request for Comments: 3626, Projet HIPERCOM,– October 2003– 75 pages.
2. Laouti Anis, Mühlethaler Paul, Najid Abdellah, Plakoo Epiphane. Simulation Results of the OLSR Routing Protocol for Wireless Network // Institute national de recherche en informatique et en automatique, Theme 1 – Reseaux et systemes, Projet HIPERCOM, Rapport de recherché № 4414 –Mars 2002, 24 pages.
3. Максимов В. В. Розрахунок верхньої межі кількості MPR вузлів у протоколі OLSR / В. В. Максимов, В. В. Полісніченко, Л. І. Потьомкіна // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2012. – № 1. – С.82-88.