

МЕТРИКА ВАРТОСТІ З'ЄДНАННЯ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Новіков В.І.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: novikov1967@ukr.net*

Connection cost metric for routing in wireless sensor networks

Proposed connection cost metric for routing in wireless sensor networks. Developed metric to more accurately evaluate the overhead caused by packet loss in real-world radio channels.

Задача пошуку оптимальних маршрутів в безпроводових сенсорних мережах (БСМ) полягає у виявленні шляхів доставки пакетів з мінімальною вартістю, яка визначається як сума вартостей з'єднань, через які цей шлях проходить [1]. Як правило, оптимальним вважається маршрут з мінімальною кількістю переходів між вузлами, що розглядаються. В цьому випадку всім з'єднанням присвоюється однакова вартість $M_{const} = 1$. Але безпроводові з'єднання в БСМ можуть значно відрізнитися надійністю, що ніяк не враховується метрикою M_{const} , тому при її використанні можуть бути обрані маршрути з низькою якістю зв'язку, що згодом призведе до зниження точності рішення задач пошуку оптимальних маршрутів.

Таким чином бажано, щоб метрика вартості з'єднання використовувала інформацію про поточну якість зв'язку в конкретних умовах експлуатації. Тому пропонується модифікований варіант існуючій метрики вартості з'єднання ETX, який більш адекватно відображає особливості застосовуваних в БСМ малопотужних радіоканалів при ненадійних каналах зв'язку.

В роботі [2] запропонована метрика «очікувана кількість передач» ETX (Expected Transmission Count), що присвоює в якості вартості з'єднання математичне сподівання кількості переданих пакетів даних, включаючи повторні передачі через втрату пакетів.

Розглянемо модель передавання пакетів в БСМ з підтвердженням успішного прийому. Схема передачі пакетів даних з позитивним підтвердженням прийому є відомим способом підвищення надійності пакетної передачі даних і використовується у багатьох алгоритмах множинного доступу до середовища в БСМ. Відповідно до цієї схеми - вузол-відправник v передає пакет даних сусідньому вузлу-одержувачу w , який у разі успішного прийому пакета без помилок відправляє пакет підтвердження, в іншому випадку прийнятий пакет ігнорується. Якщо після закінчення зумовленого проміжку часу (тайм-ауту) вузол-відправник v не отримує пакет підтвердження, пакет даних передається повторно. Описані операції виконуються доти, поки вузол-відправник не отримає пакет підтвердження без помилок, чи не буде

перевищено допустиму кількість спроб доставки пакета. Для опису якості зв'язку між вузлами v та w використовують два наступні параметри:

– $p_{tx,vw}(L)$ - ймовірність безпомилкової передачі від вузла v до вузла w пакета довжиною L байт;

– $p_{rx,vw}(L)$ - ймовірність безпомилкового прийому вузлом v від вузла w пакета довжиною L байт.

Вузол w аналогічним чином характеризує з'єднання з вузлом v . При цьому

$$p_{tx,vw}(L) = p_{rx,vw}(L), \quad (1)$$

але в загальному випадку

$$p_{tx,vw}(L) \neq p_{rx,vw}(L),$$

оскільки можлива асиметрія якості зв'язку.

Пакет даних вважається успішно доставленим, якщо він був прийнятий вузлом-одержувачем w без помилок і вузол-відправник v отримав відповідний пакет підтвердження також без помилок, тому ймовірність втрати пакета даних дорівнює

$$p_{l,vw} = 1 - p_{tx,vw}(L_d) p_{rx,vw}(L_a),$$

де L_d - довжина пакету даних, байт; L_a - довжина пакету підтвердження, байт.

Використовуючи тотожність (1) і прибираючи для зручності індекс « vw », отримуємо вираз для ймовірності втрати пакету даних при його передачі від вузла v до вузла w

$$p_l = 1 - p_{tx}(L_d) p_{rx}(L_a),$$

в якому використовуються показники надійності з'єднання з боку вузла v , передаючого пакет даних.

Ймовірність виконання рівна k спроб доставки пакета даних дорівнює

$$P_r(X = k) = \begin{cases} p_l^{k-1}(1 - p_l), & \text{при } 1 \leq k < N \\ p_l^{k-1}, & \text{при } k = N \end{cases},$$

де N - максимально допустима кількість спроб передачі пакета даних.

Тоді математичне сподівання кількості переданих пакетів даних визначається виразом

$$\mu_d(N) = \frac{1 - p_l^N}{1 - p_l}. \quad (2)$$

Для спрощення подальших розрахунків будемо розглядати граничний випадок $\mu_d = \lim_{N \rightarrow \infty} \mu_d(N)$. Таким чином, середня кількість пакетів даних, переданих у рамках однієї транзакції, дорівнює

$$\mu_d = \frac{1}{p_{tx}(L_d) p_{rx}(L_a)} = \frac{1}{\psi(\beta_{tx}, L_d) \psi(\beta_{rx}, L_a)}. \quad (3)$$

На кожен прийнятий без помилок пакет даних вузол-одержувач відправляє пакет підтвердження. Отже, математичне сподівання кількості переданих пакетів підтвердження дорівнює

$$\mu_a = p_{tx}(L_d) \mu_d = \frac{1}{p_{rx}(L_a)} = \frac{1}{\psi(\beta_{rx}, L_a)}. \quad (4)$$

Метрика ETX обчислюється за виразом (3), але замість істинних ймовірностей $p_{tx}(L_d)$ та $p_{rx}(L_a)$ використовуються їх оцінки \hat{p}_{tx} і \hat{p}_{rx} відповідно, тобто

$$ETX = \frac{1}{\hat{p}_{tx}\hat{p}_{rx}}. \quad (5)$$

В [2] показано, що в статичній мережі метрика ETX забезпечує більшу пропускну здатність у порівнянні з традиційною метрикою M_{const} за рахунок використання з'єднань з більшою надійністю і, отже, меншою кількістю втрат пакетів. Для обчислення оцінок якості вхідного \hat{p}_{rx} та вихідного зв'язків \hat{p}_{tx} вузли періодично передають спеціальні ширококомвні сигнальні пакети фіксованого розміру або використовують пасивну схему вимірювання. Однак недолік даної метрики полягає в тому, що при її розрахунку за формулою (5) не враховується розмір переданого пакета даних і розмір пакету підтвердження, які можуть значно відрізнятися від розміру сигнальних пакетів. Тому у цій роботі пропонується модифікований варіант метрики ETX , в якому усувається зазначений недолік.

Нехай для оцінки якості зв'язку використовуються ширококомвні сигнальні пакети довжиною L_p байт, тобто отримані величини \hat{p}_{tx} і \hat{p}_{rx} є оцінками ймовірностей успішної передачі і прийому пакетів довжиною L_p . Тоді за допомогою функції зворотної до $\psi(\beta, L)$ можна обчислити оцінки ймовірностей бітової помилки при передачі та прийомі:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_{tx} &= \psi^{-1}(\hat{p}_{tx}, L_p), \\ \hat{\beta}_{rx} &= \psi^{-1}(\hat{p}_{rx}, L_p). \end{aligned}$$

Зокрема, для виразу

$$\psi(\beta, L) = (1 - \beta)^{8L}, \quad (6)$$

зворотна функція має вигляд

$$\beta = \psi^{-1}(p, L) = 1 - \sqrt[8L]{p}. \quad (7)$$

В результаті, використовуючи (3), отримуємо формулу модифікованої метрики «очікувана кількість передач» M_{METX} (Modified expected transmission count):

$$M_{METX} = \frac{1}{\psi(\hat{\beta}_{tx}, L_d) \psi(\hat{\beta}_{rx}, L_a)}. \quad (8)$$

Зауважимо, що на відміну від (5) запропонована метрика (8) відображає вплив асиметрії якості зв'язку на вартість з'єднання. Дійсно, згідно (8) «ціна» передачі пакету даних від вузла v до вузла w дорівнює

$$M_{METX}(vw) = \frac{1}{\psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d) \psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_a)},$$

а витрати на передачу у зворотному напрямку (від w до v)

$$M_{METX}(wv) = \frac{1}{\psi(\hat{\beta}_{tx,wv}, L_d) \psi(\hat{\beta}_{rx,wv}, L_a)}.$$

Використовуючи (6) і (7) і враховуючи, що за визначенням мають місце рівності $\hat{\beta}_{tx,vw} = \hat{\beta}_{rx,wv}$ та $\hat{\beta}_{rx,vw} = \hat{\beta}_{tx,wv}$ можна записати вираз для відношення цих величин:

$$\frac{M_{METX}(vw)}{M_{METX}(wv)} = \left(\frac{1 - \hat{\beta}_{rx,vw}}{1 - \hat{\beta}_{tx,vw}} \right)^{8(L_d - L_a)} = \left(\frac{1 - \hat{\beta}_{tx,wv}}{1 - \hat{\beta}_{rx,wv}} \right)^{8(L_d - L_a)}. \quad (9)$$

Звичайна метрика ETX (6) еквівалентна випадку $L_p = L_d = L_a$, тому співвідношення (9) приймає значення 1 при будь-яких показниках якості безпроводових з'єднань. Але, якщо, $L_d > L_a$, то з (9) випливає, що для вузла v надійність вихідного з'єднання вище надійності вхідного ($\hat{\beta}_{tx,vw} < \hat{\beta}_{rx,vw}$) і витрати на передачу пакету даних від нього до вузла w будуть нижчі, ніж при доставці в зворотному напрямку. При цьому різниця вартості буде сильніше проявлятися із збільшенням різниці довжин пакетів даних і підтвердження, так як ймовірність втрати пакета експоненціально залежить від його розміру.

На рис. 1 показані приклади залежності M_{METX} від розмірів пакетів при каналі з симетричною якістю зв'язку та за наявності асиметрії. Видно, що вартості з'єднання, розраховані за модифікованою метрикою (8) і за звичайною (6), значно відрізняються. Величина різниці визначається співвідношенням розмірів сигнальних пакетів L_p , пакетів даних L_d і пакетів підтвердження L_a .

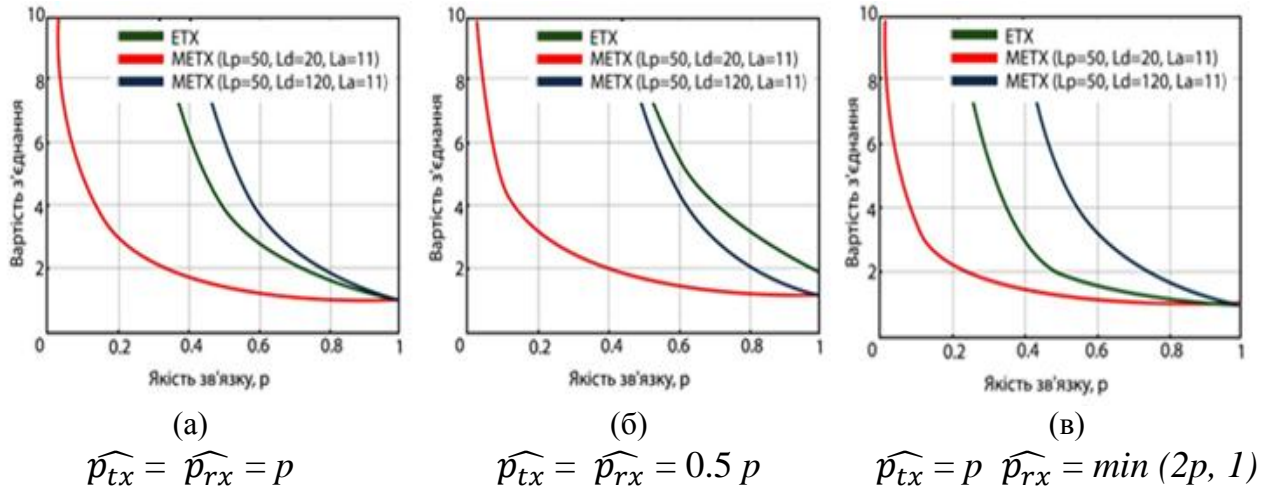


Рис. 1. Порівняння звичайної та модифікованої метрик ETX .

Запропонована метрика вартості з'єднання M_{METX} більш точно оцінює накладні витрати, викликані втратами пакетів у реальних радіоканалах. Вона може бути використана в географічній маршрутизації, реактивній маршрутизації та інших методах пошуку маршрутів в безпроводових сенсорних мережах передачі інформації різного типу.

Література

1. Бунин С.Г.. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк // К.: НПП «Издательство «Наукова думка» НАН України». – 2012. 444 с.
2. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing / D. De Couto [et al.] // Proceedings of the 9th ACM international conference on mobile computing and networking. San Diego (USA), 2003. P. 134-146.