

## **МЕТОД ПОБУДОВИ ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМІЗАЦІЇ ЧАСУ ЖИТТЯ БСС**

**Уланов П.С., Алексєєва І.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ»*

*E-mail: ulanovps@gmail.com*

### **Method of optimal routing protocol creation by lifetime maximization in sensor-based system**

Traffic parameters analysis allows to control memory buffer of sensor element and prevent extra energy consumption. Traffic model is based on self-similarity model.

Одним із найважливіших критеріїв оцінювання безпроводової сенсорної мережі є час життя мережі. Існує досить багато механізмів та протоколів, які б забезпечували економію енергії за рахунок зміни шляху маршрутизації, передачі трафікового навантаження на більш заряджені сенсори та ін. Проте на рівні сенсора такі задачі розглядались рідше, хоча і виявляється можливим оптимізувати роботу елемента.

Постає задача аналізу показників пакетного трафіку, який розповсюджується мережею. Проте вже на практиці доведено, що пакетний трафік має властивості самоподібності [1]. Графічне зображення кількості пакетів, що надходять до системи, від часу, показали, що при будь-якому часовому масштабуванні загальна картина не змінює свого вигляду. Тобто картина була однаковою при будь-якому масштабі (1мс, 1с, 1 год...). Це було справжнім відкриттям, оскільки раніше вважалось, що вхідний трафік був розподілений за Пуасоном.

На рівні одного сенсору систему можна представити як систему із певною кількістю пакетів, що надходять на обслуговування, та одним обслуговуючим пристроєм. Далі розглядатиметься броунівський рух в якості моделі вхідного потоку заявок та його обслуговування. Процес надходження та обслуговування заявок для простоти розуміння можливо розглядати як

броунівський рух частинки між двома границями. Траекторія руху частинки відповідатиме за кожну окрему реалізацію процесу.

Броунівський рух є марковським неперервним процесом, який описується рівнянням Фоккера-Планка-Колмогорова. Приведемо визначення неперервних марковських процесів  $\lambda(t)$ . У послідовні моменти часу візьмемо  $t_0 < t_1 < \dots < t_{n-1} < t_n$  значення випадкового процесу  $\lambda_0 = \lambda(t_0), \lambda_1 = \lambda(t_1), \dots, \lambda_n = \lambda(t_n)$ .

Процес  $\lambda(t)$  є марковським, якщо умовні щільності ймовірностей :

$$\pi_n(\lambda_n, t_n | \lambda_{n-1}, t_{n-1}; \dots; \lambda_1, t_1; \lambda_0, t_0) = P_{n+1}(\lambda_0, \dots, \lambda_n, t_0, \dots, t_n) / P_n(\lambda_0, \dots, \lambda_{n-1}, t_0, t_{n-1}) \quad (1)$$

залежать лише від останнього значення  $\lambda_{n-1}$  в момент часу  $t_{n-1}$  і не залежать від станів, що були раніше, тобто :

$$\pi_n(\lambda_n, t_n | \lambda_{n-1}, t_{n-1}; \dots; \lambda_1, t_1; \lambda_0, t_0) = \pi(\lambda_n, t_n | \lambda_{n-1}, t_{n-1}), \quad n > 1 \quad (2)$$

Іншими словами, поведінка марковського процесу не залежить від минулого, якщо точно відомо його стан в поточний момент часу.

Рівняння (3) є рівнянням Фоккера-Планка-Колмогорова та власне і описує броунівський рух:

$$\frac{\partial}{\partial t} \pi(\lambda, t | \lambda_0, t_0) = - \frac{\partial}{\partial \lambda} [a(\lambda, t) \pi(\lambda, t | \lambda_0, t_0)] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} [b(\lambda, t) \pi(\lambda, t | \lambda_0, t_0)] \quad (3)$$

Аби надати фізичного змісту досліджуваній задачі, розглянемо задачу досягнення границь одномірним марковським процесом.

Нехай безперервний одновимірний стаціонарний марківський процес  $\lambda(t)$  в початковий момент часу  $t=0$  має фіксоване значення  $\lambda(0) = \lambda_0$ , що знаходиться всередині інтервалу  $(c, d)$  тобто початкова щільність ймовірності є дельта-функцією:

$$P(\lambda, 0) = P_0(\lambda) = \delta(\lambda - \lambda_0), \lambda_0 \in (0, d) \quad (4)$$

Потрібно знайти ймовірність  $P_{c,d}(t, \lambda_0)$  того, що випадковий процес, що має початкове значення  $\lambda_0$ , протягом часу  $t > 0$  досягне меж інтервалу  $(c, d)$ , тобто досягне або або границі  $c$ , або границі  $d$ . Ці границі і являють собою межі буфера пам'яті сенсора. Про нульовій нижній границі та варійованій

верхній можливо розраховувати оптимальний об'єм буфера для певних характеристик трафіку. А користуючись формулами Літтла, можливо обчислити як середню кількість пакетів у буфері, так і середній час обробки одного пакета.

Тобто подальша методика полягає у тому, що під час функціонування мережі проводиться аналіз показників вхідного трафіку (вираховується  $\lambda \frac{\text{пакетів}}{c}$  та  $\sigma$  – коефіцієнт дифузії). В залежності від цих показників прогнозуються межі буфера пам'яті сенсора, що на 10-12% економить ресурс елемента (у порівнянні із системами, де властивості трафіку не враховуються). Математичні обрахунки показали, що найбільший вплив на показники системи має зміна значення  $\sigma$ .

Розглядається можливість на рівні сенсора записувати дані щодо отриманого трафіку та включати їх до вільних полів вже існуючих протоколів маршрутизації. Це дало б змогу постійно контролювати навантаження на мережі та дистанційно керувати пам'яттю та ресурсами сенсорного елемента.

### Література

1. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version ) / Will E.Leland Murad S. Taqqu, Walter Willinger, Daniel V. Wilson // IEEE/ACM Trans. Netw.- 1994.- Vol.2, no.1.-P. 1-15.
2. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы.- М.: «Сов.радио», 1977.- 488 с.
3. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version ) / Will E.Leland Murad S. Taqqu, Walter Willinger, Daniel V. Wilson // IEEE/ACM Trans. Netw.- 1994.- Vol.2, no.1.-P. 1-15.
4. Johnson D., Maltz D. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks // Mobile computing / Ed. by T. Imielinski, H. Korth. 1996. Vol. 353. P. 153-181.
5. Aslam J., Li Q., Rus D. Three power-aware routing algorithms for sensor networks // Wireless communications and mobile computing. 2003. Vol. 3, no.2.