

УДК 621.396.946

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Петрова В.М.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Бондарук О.А.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИБІР ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Запропонована імітаційна модель вибору протоколу маршрутизації в безпроводній сенсорній мережі, що дає змогу дослідити вплив щільності мережі, мережевого навантаження, розміру пакетів на якість обслуговування.

Ключові слова: маршрутизація, мережа, навантаження.

Постановка проблеми. Безпроводні сенсорні мережі складаються з великої кількості автономних пристроїв, централізоване управління такою мережею зазвичай відсутнє. Тому для таких мереж необхідно використовувати агентні імітаційні моделі. Найважливішою їх властивістю є можливість розширення їхніх функціональних можливостей (включення нових протоколів, методів управління трафіком та ін.) користувачами цих пакетів.

Постановка завдання. У роботі для імітаційного моделювання використовувалася система DaSSF. DaSSF (Dartmouth SSF) – це реалізована на C++ система SSF (Scalable Simulation Framework). SSF – уніфікований, об'єктно орієнтований API для симуляції великих систем. Реалізація DaSSF заснована на високопродуктивному ядрі, що має великий запас продуктивності паралельних обчислень системи імітаційного моделювання. SSF API надає п'ять базових класів: Entity, Process, Event, inChannel, outChannel.

Виклад основного матеріалу.

Перевірка імітаційної моделі

Для реалізованої імітаційної моделі необхідна перевірка на відповідність її поведінки задумам дослідження і моделювання. Така перевірка включала в себе дві категорії оцінки – верифікацію

моделі та валідацію даних концептуальної моделі на основі забезпечення максимальної схожості з останньою.

Для верифікації протоколів маршрутизації було проведено їх покрокове трасування. Для протоколів FSR і DSFSR було досліджено час поширення маршрутної інформації. Так, для протоколу FSR час оновлення маршрутної інформації в ідеальних умовах може бути аналітично обчислено як

$$t = \begin{cases} n \cdot t_r \cdot \text{int}_1, n < n_1 \\ n_1 \cdot t_r \cdot \text{int}_1 + (n - n_1) \cdot t_r \cdot \text{int}_2, n_1 < n < n_2 \\ n_1 \cdot t_r \cdot \text{int}_1 + (n_2 - n_1) \cdot t_r \cdot \text{int}_2 + (n - n_1 - n_2) \cdot t_r \cdot \text{int}_3, n_2 < n < n_3 \\ \dots \end{cases}$$

У цій формулі

n_i – кількість хопів зони;

int_i – інтервал оновлення зони;

t_r – мінімальний інтервал оновлення.

Для протоколу DSFSR цей час може бути обчислено як $t = n \cdot t_r \cdot \text{int}_1$. Покрокове трасування протоколів маршрутизації показало принципову відповідність їхньої роботи до теоретичних припущень, а також правильність обробки вхідних даних.

Для оцінки стійкості даних було досліджено зміну дисперсії вихідних даних за збільшення часу моделювання. Було проведено дослідження мережі зі 100 вузлів. Для маршрутизації використовувався протокол FSR. Дисперсія досліджувалася за вибіркою обсягом 100. Оцінюваним параметром було обрано значення критерію максимального середнього часу доставки. Таким чином, були отримані такі дані (таблиця 1).

Таблиця 1

Дисперсія для критерію оцінки якості

Час моделювання	Дисперсія для критерію максимального середнього часу доставки
1 хвилини	0,310
2 хвилини	0,270
3 хвилини	0,120
5 хвилин	0,092
8 хвилин	0,087
10 хвилин	0,081

За збільшення часу моделювання дисперсія не збільшується, таким чином, можна дійти висновку про стійкість отриманих даних.

Для оцінки точності в імітаційну модель був включений клас Validation. Оцінка точності здійснюється у два етапи. Перший етап включає в себе перевірку нормальності розподілу отриманих даних за допомогою критерію Колмогорова.

Згідно з цим критерієм міра відхилення емпіричної функції розподілу $F_n^*(x)$ від гіпотетичної функції розподілу $F(x)$ визначається таким чином:

$$D_n = D\{F_n^*, F\} = \sup_x |F_n^*(x) - F(x)|$$

Гіпотеза про відповідність функції розподілу до гіпотетичної приймається на рівні значущості α , якщо $\sqrt{n}D_n \leq k_\alpha$, де k_α – квантиль розподілу Колмогорова.

На другому етапі обчислюється інтервал довіри для отриманих даних. Для цього використовується вибіркова дисперсія для вибірки (X_1, X_2, \dots, X_n) :

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Тоді значення математичного очікування отриманого значення лежить в інтервалі з кінцями в точках

$$\bar{X} - t_{\frac{1+\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n-1}} ; \bar{X} + t_{\frac{1+\alpha}{2}, n-1} \frac{S}{\sqrt{n-1}}$$

Тут $t_{\frac{1+\alpha}{2}, n-1}$ – процентилі розподілу Стюдента, що можуть бути отримані з їх таблиць. Оцінка

Таблиця 2

Якість доставки даних за зміни щільності

Щільність	DSFSR			FSR		
	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втраг	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втраг
4	0,42	19,66	1,54	0,56	22,7	1,59
5	0,41	18,92	1,45	0,52	21,06	1,47
6	0,35	17,14	1,43	0,48	20,66	1,44
7	0,26	15,03	1,38	0,44	20,54	1,38
8	0,19	13,2	1,35	0,43	19,01	1,36
9	0,2	11,41	1,33	0,31	11,81	1,33
10	0,19	9,79	1,32	0,19	9,67	1,32
11	0,16	4,94	1,28	0,18	5,21	1,29
12	0,15	3,26	1,26	0,16	3,28	1,26
13	0,19	4,84	1,23	0,2	4,91	1,24
14	0,24	7,31	1,2	0,29	7,43	1,21
15	0,37	8,31	1,21	0,36	8,47	1,2
16	0,51	9,01	1,19	0,51	9,36	1,21
17	0,62	10,13	1,11	0,61	11,24	1,08
18	0,75	11,24	1,05	0,75	12,35	1,01
19	0,85	12,64	0,98	0,85	13,39	0,91

точності проводиться безпосередньо у процесі імітаційного моделювання.

Дослідження впливу щільності мережі на якість обслуговування

У цьому дослідженні щільність мережі оцінюється як середня кількість «сусідів» для влаштування мережі. Для зміни цього параметра змінювалася площа території, на якій працює бездротова мережа. Під час розглянутого експерименту змінюється ще один важливий параметр – діаметр

мережі. Результати експерименту представлені в таблиці 2.

У мережі з високою щільністю протоколи маршрутизації можуть працювати більш ефективно, оскільки у цьому разі використовується відносно невелика кількість проміжних вузлів-маршрутизаторів. Проте в таких мережах збільшується ймовірність виникнення колізій, що знижує ефективність роботи мережі. У мережах з високою щільністю протоколи маршрутизації показують приблизно

Таблиця 3

Якість доставки даних за зміни мережевого навантаження

Щільність	DSFSR			FSR		
	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат
70	5,25	50,24	9,38	5,21	49,42	8,59
60	4,31	42,35	6,91	4,25	42,27	5,83
50	4,01	35,3	4,48	3,97	35,24	4,35
40	3,35	25,74	3,46	3,28	24,71	3,11
30	2,97	20,11	2,74	2,98	20,54	2,7
20	1,77	14,98	2,52	1,87	15,48	2,52
16	1,47	14,01	2,3	1,57	14,27	2,31
12	1,25	12,87	2,08	1,25	13,21	2,11
6	1,09	11,9	1,86	1,11	11,98	1,87
4	0,87	10,92	1,64	0,94	11,23	1,62
3	0,82	9,87	1,42	0,86	10,51	1,41
2	0,82	9,71	1,2	0,86	11,05	1,21
1	0,83	9,58	0,98	0,85	12,87	0,99

Таблиця 4

Якість доставки даних за зміни розміру пакетів

Щільність	DSFSR			FSR		
	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат	Критерій максимального середнього часу доставки	Критерій максимального часу доставки	Критерій максимального відсотка втрат
80	5,24	48,67	10,25	4,97	45,97	9,93
65,5	4,15	41,79	7,38	4,01	40,12	7,02
50	3,98	35,21	4,48	3,78	35,18	4,35
40	3,24	25,57	3,01	3,34	28,92	2,72
30	2,84	19,89	2,71	2,89	22,57	2,7
20	1,74	14,68	2,42	1,91	15,29	2,45
16	1,46	13,69	2,34	1,49	13,79	2,46
12	1,21	12,58	2,07	1,37	13,24	2,17
6	1,06	11,87	1,84	1,14	11,97	1,86
5,3	0,84	10,9	1,62	0,88	11,01	1,63

однакові значення критеріїв оцінки якості. За зменшення щільності мережі ймовірність колізії зменшується, однак зростає число ретрансляції через проміжні вузли.

Протокол DSFSR дає змогу отримати значення якості обслуговування до 48% краще для критерію максимального середнього часу доставки, до 31% – для критерію максимального відсотка втрат.

Дослідження впливу мережевого навантаження на якість обслуговування

У розглянутій мережі бітова швидкість передачі даних між пристроями становить 1024 Кбіт/с. З урахуванням того, що всі дані доставляються в єдиний центр обробки, а мережа складається зі 100 пристроїв, максимальна швидкість передачі для одного пристрою становить

$$V_{\max} = \frac{1024}{8 \cdot 100} = 1.28 \text{ кілобайт в секунду}$$

або 1311 байт в секунду. Однак через помилки колізій і накладних витрат на роботу протоколів така швидкість практично недосяжна і буде використовуватися тільки як міра оцінки верхньої межі швидкості передачі.

У процесі доставки пакета останній пройде через кілька вузлів: джерело – маршрутизатор 1 – маршрутизатор 2 – ... – маршрутизатор N – приймач. За кожного стрибка пакет буде займати канал двічі – під час прийому і під час передачі. Таким чином, за 100% завантаження мережі приймемо швидкість передачі 656 байт у секунду для кожного пристрою.

Дослідження проводилося для мережі з великою щільністю, тому що в такій мережі протоколи маршрутизації показують найбільш подібні значення якості, тобто мінімізовані інші фактори, що впливають на ефективність роботи мережі. Значення критеріїв якості обслуговування представлені в таблиці 3.

За збільшення частоти появи даних збільшується час доставки пакетів через канальний рівень пере-

дачі, оскільки середовище зайняте протягом більшого часу, а також зростає ймовірність колізій. Однак за зменшення частоти появи корисних даних ефективність роботи мережі може зменшитися, оскільки за рідкісної появи пакетів протоколу маршрутизації складніше обчислити метрики каналів. Це може виражатися в неправильному призначенні метрик для каналів, а також у їх частіших змінах. Протокол DSFSR інколи показує кращу ефективність, оскільки швидше реагує на зміну стану каналів.

Дослідження впливу розміру пакетів на якість обслуговування

У цьому експерименті перевірялася залежність якості обслуговування мережі від розміру пакетів із корисними даними. При цьому мережеве навантаження змінювалося від 5,3% до 80%. Результати представлені в таблиці 4.

Висновки. Реалізовано імітаційну модель бездротової сенсорної мережі на базі комп'ютерної системи моделювання DaSSF, за допомогою якої були отримані параметри якості передачі даних для мереж, що використовують протоколи FSR і DSFSR, залежно від таких факторів, як щільність мережі, розмір пакетів, мережеве навантаження.

Встановлено, що за збільшення розміру пакетів найбільший вплив на ефективність мають, як правило, не протоколи маршрутизації, а технологія доступу до середовища передачі. Однак у кожному разі використовуваний протокол маршрутизації впливає на якість роботи мережі, оскільки тільки від нього залежить кількість службового трафіку, а також обраний маршрут для доставки, який, своєю чергою, залежить від метрики каналу, яка визначається розміром переданих пакетів.

Деколи протокол DSFSR забезпечує кращу якість обслуговування, оскільки модифікований спосіб доставки маршрутної інформації дає змогу більш ефективно використовувати канали передачі. Проте можливі ситуації, коли такий алгоритм показує меншу ефективність, оскільки збільшує накладні витрати.

Список літератури:

1. Al-Karaki J., Kamal A. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey // IEEE wireless communications. 2004. Vol. 11, no. 6. – P. 6–28.
2. Akkaya K., Younis M. A survey of routing protocols in wireless sensor networks // Ad hoc networks. 2005. Vol. 3, no. 3. – P. 325–349.
3. Cao Q., Abdelzaher T. Scalable logical coordinates framework for routing in wireless sensor networks // ACM transactions on sensor networks. 2006. Vol. 2, no. 4. – P. 557–593.
4. GHT: a geographic hash table for data-centric storage / S. Ratnasamy [et al.] // Proceedings of the 1st ACM international workshop on wireless sensor networks and applications. Atlanta (USA), 2002. – P. 78–87.

**ВЫБОР ПРОТОКОЛА МАРШРУТИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ**

Предложена имитационная модель выбора протокола маршрутизации в беспроводной сенсорной сети, что дает возможность исследовать влияние плотности сети, сетевой нагрузки, размера пакетов на качество обслуживания.

Ключевые слова: маршрутизация, сеть, нагрузка.

**SELECTION OF ROUTING PROTOCOL USING
IMITATION MODELING OF WIRELESS SENSOR NETWORK**

Proposed simulation of routing protocol selection in a wireless sensor network, which enables the network to investigate the influence of density, network load, packets size on the quality of service.

Key words: routing, network, load.