

АНАЛИТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ В МОБІЛЬНІЙ РАДІОМЕРЕЖІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Польщиков К. О.

С использованием математического аппарата вероятностно-временных графов разработана аналитическая модель процесса доставки информационного сообщения в мобильной радиосети специального назначения. Получены выражения, которые отражают зависимость среднего времени доставки информационного сообщения от среднего времени его передачи с учетом возможных разрывов виртуальных соединений, вызванных мобильностью узлов сети и деструктивными действиями противника. На основании результатов моделирования доказано, что в мобильной радиосети специального назначения длительность передачи информационных сообщений должна быть меньше, чем в сетях с фиксированной топологией.

З використанням математичного апарату імовірісно-часових графів розроблено аналітичну модель процесу доставки інформаційного повідомлення в мобільній радіомережі спеціального призначення. Одержано вирази, які відбивають залежність середнього часу доставки інформаційного повідомлення від середнього часу його передачі з урахуванням можливих розривів віртуальних з'єднань, спричинених мобільністю вузлів мережі та деструктивними діями противника. На підставі результатів моделювання доведено, що в мобільній радіомережі спеціального призначення тривалість передавання інформаційних повідомлень повинна бути меншою, ніж у телекомунікаційних мережах з фіксованою топологією.

With the use of mathematical vehicle of probabilistic-temporal counts the analytical model of process of information message delivery in the mobile radio network of the special setting is developed. Expressions which reflect dependence of mean time of information message delivery on mean time of his transmission taking into account the possible breaks of virtual connections are got, knots of network caused mobility and by the destructive actions of opponent. On the basis of results designs are well-proven that in the mobile radio network of the special setting duration the information messages passing must be less, than in telecommunication networks with the fixed topology.

Польщиков К. А.

канд. техн. наук, доцент кафедры КИТ ДГМА

konspol@rambler.ru

УДК 621.396

Польщиков К. О.

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ В МОБІЛЬНІЙ РАДІОМЕРЕЖІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мобільні радіомережі спеціального (військового) призначення (МРСП) надають абонентам можливість обмінюватись інформацією в умовах динамічної топології, обумовленою переміщенням усіх вузлів, відсутністю базових станцій, впливом деструктивних чинників [1].

Інформаційні повідомлення, що містять управляючі сигнали, текстову, графічну і табличну інформацію, утворюють в МРСП трафік даних. Процес доставки таких повідомлень в телекомунікаційній мережі включає наступні основні етапи:

- 1) встановлення віртуального з'єднання між джерелом повідомлення та адресатом;
- 2) передача повідомлення від джерела до адресата;
- 3) закриття віртуального з'єднання.

В МРСП доставка повідомлення може перериватися унаслідок передчасних розривів віртуальних з'єднань, викликаних швидкою зміною мережної топології. До основних чинників, що обумовлюють короткочасність існування віртуальних з'єднань в МРСП, слід віднести:

- 1) мобільність вузлів мережі (переміщення вузлів може призвести до їхнього виходу з певних зон покриття мережі);
- 2) деструктивні дії противника, що призводять до знищення вузлів або втрати їхньої працездатності.

Забезпечити своєчасну доставку інформації в таких умовах можна, якщо величина t_c (середній час передачі повідомлення від джерела до адресата) не буде перевищувати значення t_{\max} . Щоб обґрунтувати значення t_{\max} , необхідно з урахуванням специфіки МРСП визначити залежність середнього часу доставки повідомлення в цій мережі від значення t_c .

Для проведення наукових досліджень, спрямованих на виявлення закономірностей функціонування телекомунікаційних мереж та оцінку їхніх характеристик, успішно застосовують математичне моделювання [2–7]. Проте у фаховій літературі недостатньо уваги приділяється питанням створення аналітичних моделей, що описують особливості доставки даних в МРСП.

Стаття присвячена вирішенню актуального наукового завдання, що полягає у розробці аналітичної моделі процесу доставки інформаційного повідомлення в мобільній радіомережі спеціального призначення.

Метою статті є забезпечення достовірної оцінки середнього часу доставки повідомлення в МРСП.

Повідомлення може бути доставлено повністю з першої спроби, а може бути доставлено по частинам шляхом використання двох або більше спроб. Припустимо, що якщо не вдалося передати повідомлення повністю з першої спроби, то середній час передачі частини повідомлення є значенням, кратним відношенню середнього часу передачі повідомлення до максимальної кількості спроб, якої вистачить для його доставки.

Для оцінки середнього часу доставки повідомлення в МРСП необхідно обґрунтувати залежність цієї величини від середнього часу, що витрачається на передачу повідомлення, при заданому значенні максимальної кількості спроб, якої вистачить для успішної доставки всього повідомлення.

Задано:

- 1) t_c – середній час передачі повідомлення;
- 2) n – максимальна кількість спроб, якої вистачає для доставки повідомлення;
- 3) t_g – середній час встановлення віртуального з'єднання;

4) t_3 – середній час завершення віртуального з’єднання;

5) множина $\{p_{ni}\}$, де p_{ni} – імовірність передчасного розриву віртуального з’єднання, який може відбутися унаслідок мобільності абонентів мережі після передачі $\frac{i}{n}$ -ї частини повідомлення, $i = \overline{1, n-1}$;

6) множина $\{q_{ni}\}$, де q_{ni} – імовірність передчасного розриву віртуального з’єднання, який може відбутися унаслідок деструктивних дій противника після передачі $\frac{i}{n}$ -ї частини повідомлення.

Необхідно: обґрунтувати аналітичні вирази, що відбивають залежність $T_n = f(t_c)$, де T_n – середній час доставки повідомлення в МРСП при заданому n .

Обмеження:

1) для любых n та i повинна виконуватись умова: $p_{ni} + q_{ni} \leq 0,5$, тобто при здійсненні будь-якої спроби доставити повідомлення імовірність передчасного розриву віртуального з’єднання не може перевищувати 0,5;

2) зважаючи на попереднє обмеження, передчасний розрив віртуального з’єднання після чотирьох спроб передати повідомлення буде малоімовірною подією (її імовірність не перевищить значення $0,5^5 = 0,03125$), тому значення максимальної кількості спроб, якої вистачить для повної доставки повідомлення, обмежується інтервалом: $1 < n \leq 4$.

Допущення: якщо не вдалося передати повідомлення повністю з першої спроби, то воно може бути доставлено по частинам, причому середній час передачі частини повідомлення є значенням, кратним $\frac{t_c}{n}$.

Процес доставки інформаційного повідомлення в МРСП при $n = 3$ можна представити у вигляді імовірісно-часового графу, зображеного на рис. 1.

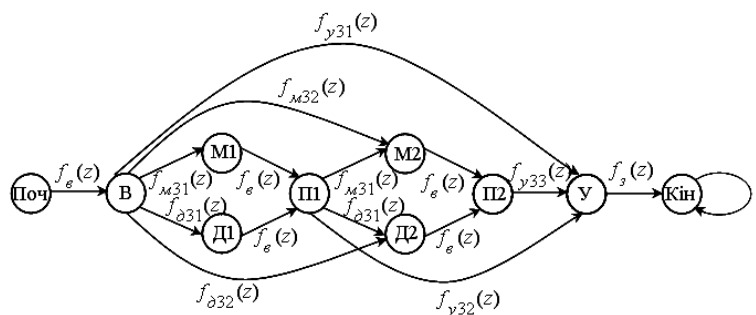


Рис. 1. Граф, що описує процес доставки інформаційного повідомлення в МРСП при $n = 3$

Вершина «Поч» цього графу відповідає початку доставки повідомлення. В цьому стані починається процедура встановлення віртуального з’єднання між відправником та адресатом повідомлення, яка триває протягом середнього часу t_e . Стан досліджуваного процесу, в якому віртуальне з’єднання встановилося, моделюється вершиною «В». Імовірність переходу з вершини «Поч» до вершини «В» рівна 1. Тому функція ребра, що відповідає цьому переходові, дорівнює:

$$f_e(z) = z^{t_e}, \tag{1}$$

де z – параметр функції ребра.

Інші вершини цього графу відповідають таким станам досліджуваного процесу: «М1» – передчасний розрив віртуального з’єднання, що відбувся унаслідок мобільності абонентів мережі після передачі $\frac{1}{n}$ -ї частини повідомлення; «Д1» – передчасний розрив віртуального з’єднання, що відбувся унаслідок деструктивних дій противника після передачі $\frac{1}{n}$ -ї частини повідомлення; «М2» – передчасний розрив віртуального з’єднання, що відбувся унаслідок мобільності абонентів мережі після передачі $\frac{2}{n}$ -х частин повідомлення; «Д2» – передчасний розрив віртуального з’єднання, що відбувся унаслідок деструктивних дій противника після передачі $\frac{2}{n}$ -х частин повідомлення; «П1» – повторне встановлення віртуального з’єднання, що відбулося після того, як доставлено $\frac{1}{n}$ -у частину повідомлення; «П2» – повторне встановлення віртуального з’єднання, що відбулося після того, як доставлено $\frac{2}{n}$ -і частини повідомлення; «У» – доставка усього повідомлення.

Функції ребер графу (рис. 1), що відповідають переходам з одного стану до іншого, визначаються за такими виразами:

$$f_{M31}(z) = p_{31}z^{\frac{t_c}{3}}; \tag{2}$$

$$f_{D31}(z) = q_{31}z^{\frac{t_c}{3}}; \tag{3}$$

$$f_{M32}(z) = p_{32}z^{\frac{2}{3}t_c}; \tag{4}$$

$$f_{D32}(z) = q_{32}z^{\frac{2}{3}t_c}; \tag{5}$$

$$f_{Y31}(z) = (1 - p_{31} - q_{31} - p_{32} - q_{32})z^{t_c}; \tag{6}$$

$$f_{Y32}(z) = (1 - p_{31} - q_{31})z^{\frac{2}{3}t_c}; \tag{7}$$

$$f_{Y33}(z) = z^{\frac{t_c}{3}}. \tag{8}$$

Нарешті, після того, як усе повідомлення буде передано адресатові, протягом часу t_3 здійснюється закриття віртуального з’єднання, тобто завершення доставки повідомлення. Ця ситуація моделюється переходом з вершини «У» до вершини «Кін», яка відповідає кінцевому стану досліджуваного процесу. Функція ребра, що з’єднує зазначені вершини, визначається за виразом:

$$f_3(z) = z^{t_3}. \tag{9}$$

Після здійснення еквівалентних перетворень граф, що описує процес доставки інформаційного повідомлення в МРСП при $n = 3$, буде мати більш простий вигляд (рис. 2).

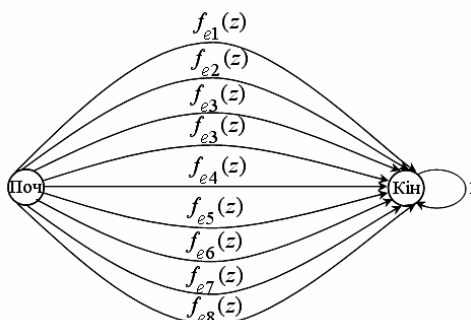


Рис. 2. Граф, що описує процес доставки інформаційного повідомлення в МРСП при $n = 3$, після здійснення еквівалентних перетворень

Вирази для визначення функцій ребер графу, представлено на рис. 2, мають вигляд:

$$f_{e31}(z) = f_{\theta}^3(z) f_{m31}^2(z) f_{y33}(z) f_3(z); \tag{10}$$

$$f_{e32}(z) = f_{\theta}^3(z) f_{\partial31}^2(z) f_{y33}(z) f_3(z); \tag{11}$$

$$f_{e33}(z) = f_{\theta}^3(z) f_{m31}(z) f_{\partial31}(z) f_{y33}(z) f_3(z); \tag{12}$$

$$f_{e34}(z) = f_{\theta}^2(z) f_{m32}(z) f_{y33}(z) f_3(z); \tag{13}$$

$$f_{e35}(z) = f_{\theta}^2(z) f_{\partial32}(z) f_{y33}(z) f_3(z); \tag{14}$$

$$f_{e36}(z) = f_{\theta}^2(z) f_{m31}(z) f_{y32}(z) f_3(z); \tag{15}$$

$$f_{e37}(z) = f_{\theta}^2(z) f_{\partial31}(z) f_{y32}(z) f_3(z); \tag{16}$$

$$f_{e38}(z) = f_{\theta}(z) f_{y31}(z) f_3(z). \tag{17}$$

Подальше перетворення завершується поданням графу в найпростішому вигляді (рис. 3).

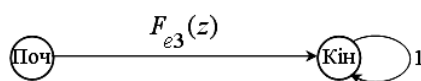


Рис. 3. Граф, що описує процес доставки інформаційного повідомлення в МРСП при $n = 3$, у найпростішому вигляді

Функцію $F_{e3}(z)$ можна визначити за формулою:

$$F_{e3}(z) = f_{e31}(z) + f_{e32}(z) + 2f_{e33}(z) + f_{e34}(z) + f_{e35}(z) + f_{e36}(z) + f_{e37}(z) + f_{e38}(z). \tag{18}$$

Середній час доставки повідомлення при $n = 3$ можна обчислити за допомогою виразу:

$$T_3 = \left. \frac{dF_{e3}(z)}{dz} \right|_{z=1}. \tag{19}$$

Припустимо, що повідомлення буде доставлено своєчасно, якщо середній час його доставки T_n не буде перевищувати заданого значення T_{\max} , тобто критерієм своєчасної доставки повідомлення є виконання умови:

$$T_n \leq T_{\max} \tag{20}$$

З використанням виразів (1) – (19) для заданих значень n , t_6 , t_3 , $\{p_{ni}\}$ та $\{q_{ni}\}$ можна визначити таке максимальне значення середнього часу передачі повідомлення t_{\max} , при якому виконується умова (20).

Для вихідних даних, що містяться у таблицях 1 і 2, обчислені значення t_{\max} . За результатами обчислень для різних значень T_{\max} побудовано сімейство кривих (рис. 4), що відповідає залежності $t_{\max} = f(\gamma)$, де значення γ є сумою ймовірностей передчасного розриву віртуального з'єднання:

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n-1} (p_{ni} + q_{ni}).$$

Таблиця 1

Значення величин n , t_6 , t_3 , $T_{\max 1}$, $T_{\max 2}$ та $T_{\max 3}$

Параметр	n	t_6	t_3	$T_{\max 1}$	$T_{\max 2}$	$T_{\max 3}$
Значення	3	4 с	2 с	14 с	12 с	10 с

Таблиця 2

Значення величин p_{31} , q_{31} , p_{32} , q_{32} та γ

p_{31}	q_{31}	p_{32}	q_{32}	γ
0,035	0,035	0,015	0,015	0,1
0,07	0,07	0,03	0,03	0,2
0,1	0,1	0,05	0,05	0,3
0,14	0,14	0,06	0,06	0,4
0,175	0,175	0,075	0,075	0,5
0,2	0,2	0,1	0,1	0,6
0,235	0,235	0,115	0,115	0,7
0,28	0,28	0,12	0,12	0,8
0,315	0,315	0,135	0,135	0,9
0,35	0,35	0,15	0,15	1

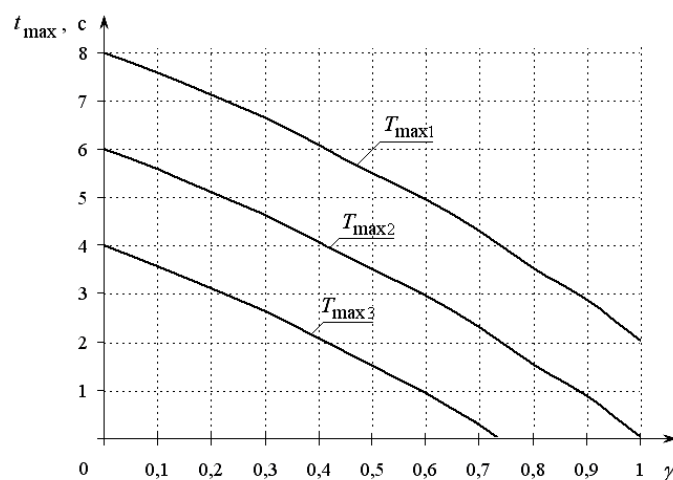


Рис. 4. Графіки залежності $t_{\max} = f(\gamma)$ при різних значеннях T_{\max}

Зображені на рис. 4 графіки можуть бути використані для визначення інтервалу допустимих значень параметру t_c при заданому значенні T_{\max} . Наприклад, при $T_{\max} = T_{\max 2} = 12$ с і $\gamma = 0,3$ повідомлення буде доставлено своєчасно, якщо середній час його передачі не буде перевищувати значення $t_{\max} = 4,64$ с, тобто буде знаходитись у межах $0 < t_c \leq 4,64$ (с). В іншому випадку, наприклад, при $T_{\max} = T_{\max 1} = 14$ с і $\gamma = 0,5$ своєчасність доставки повідомлення буде забезпечено, якщо середній час його передачі буде знаходитись у межах $0 < t_c \leq 5,51$ (с).

Аналіз зображених на рис. 4 графіків підтверджує справедливість припущення, яке полягає у тому, що чим більше значення $\{p_{ni}\}$ і $\{q_{ni}\}$, тим меншою повинна бути величина t_{\max} . Іншими словами, результати моделювання доводять, що унаслідок впливу мобільності вузлів та деструктивних чинників на передчасні розриви віртуальних з'єднань більш жорсткі вимоги до тривалості передачі інформаційних повідомлень висувуються в МРСП, ніж у телекомунікаційних мережах з фіксованою топологією.

ВИСНОВКИ

Таким чином, з використанням математичного апарату імовірнісно-часових графів вперше розроблено аналітичну модель процесу доставки інформаційного повідомлення в мобільній радіомережі спеціального призначення. Новизна цього наукового результату полягає у тому, що вперше одержано вирази, які відбивають залежність середнього часу доставки інформаційного повідомлення від середнього часу його передачі з урахуванням можливих розривів віртуальних з'єднань, спричинених мобільністю вузлів мережі та деструктивними діями противника. Пропоновану модель можна використовувати для обґрунтування вимог до значень середнього часу передачі повідомлення в МРСП при заданому максимальному значенні середнього часу його доставки. В результаті обчислень, здійснених на основі застосування розробленої моделі, доведено, що у порівнянні з телекомунікаційними мережами з фіксованою топологією в МРСП висувуються більш жорсткі вимоги до тривалості передачі інформаційних повідомлень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Миночкин А. И. *Методология оперативного управления мобильными радиосетями* / А. И. Миночкин, В. А. Романюк // *Зв'язок*. – 2005. – № 2. – С. 53–58.
2. Дымарский Я. С. *Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи* / Я.С. Дымарский, Н. П. Крутякова, Г. Г. Яновский. – М. : Эко-Трендз, 2003. – 384 с.
3. Вишневецкий В. М. *Теоретические основы проектирования компьютерных систем* / В. М. Вишневецкий. – М. : Техносфера, 2003. – 512 с.
4. Евсеева О. Ю. *Потоковая модель процессов маршрутизации с гарантированным качеством обслуживания* / О. Ю. Евсеева, А. В. Лемешко, А. А. Кравчук // *Радиотехника. Всеукр. межведомств. науч.-техн. сб.* – 2004. – Вып. 138. – С. 32–37.
5. Польщиков К. О. *Математична модель процесу обміну інформацією згідно з протоколом TCP* / К. О. Польщиков, О. О. Лаврут, М. М. Александров // *Системи обробки інформації*. – Харків : ХУПС, 2007. – Вып. 1(59). – С. 82–84.
6. Польщиков К. О. *Імітаційні моделі процесів управління інформаційними потоками в телекомунікаційних мережах* // *Збірник наукових праць*. – К. : ВІПІ НТУУ «КПІ», 2007. – Вып. 3. – С. 98–104.
7. Польщиков К. А. *Математическая модель предоставления программируемых услуг абонентам телекоммуникационной сети* / К. А. Польщиков, О. О. Лаврут, В. А. Струць // *Системи обробки інформації*. – Харків : ХУПС, 2006. – Вып. 1(50). – С. 138–144.