

УДК 621.396. 642. 2

О.С. Бойченко¹, В.В. Воротніков¹, Ю.О. Кулаков²¹Житомирський військовий інститут ім. С.П.Корольова НАУ, Житомир²Національний технічний університет України «КПІ», Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ БЕЗДРОТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

В статті запропоновано дослідження пропускної здатності бездротових ІКМ при передачі даних різних інформаційних категорій. Знаходження пропускної здатності бездротових ІКМ реалізовано з використанням методів, які засновані на теорії масового обслуговування. Проведена оцінка пропускної здатності в залежності від структури ІКМ та довжини пакетів, що використовуються для передачі різних інформаційних категорій.

Ключові слова: пропускна здатність, бездротові інформаційно-комунікаційні мережі, віртуальні слоти, колізії, втрати пакетів.

Вступ

Постановка проблеми. Виходячи із завдань Державної цільової оборонної програми розробки озброєння та військової техніки Збройних Сил України на 2012 – 2017 роки та Концепції реформування та розвитку Збройних Сил України на період до 2017 року робота щодо розвитку засобів автоматизації в системах управління та інформатизації Збройних Сил України проводиться в рамках створення Єдиної автоматизованої системи управління (АСУ) Збройних Сил України [10].

Інформаційно – комунікаційна мережа (ІКМ) є технічною основою АСУ Збройних Сил України та функціонує в рамках системи управління військами. Функціонування ІКМ має вплив на якість управління військами та ефективність бойових дій. Саме з цим пов'язана принципова можливість оцінки результатів функціонування ІКМ на різних рівнях управління за показниками бойової ефективності, ефективності системи управління військами, власної внутрішньої ефективності.

Останнім часом розвиток бездротових технологій надає можливості щодо швидкого розгортання ІКМ. Саме використання бездротових ІКМ у тактичній ланці управління дозволяє отримати перевагу у часі для організації та налагодження системи управління військами, а також значно зменшити витрати на розхідні матеріали (дроти, конектори та інше).

Будь-яка бездротова ІКМ характеризується наступними фізичними властивостями: радіус дії, частотний діапазон, види сигналів та модуляції, енергоспоживання, протоколи обміну даними, протоколи захисту інформації.

Для каналного рівня системи OSI характерна властивість «Протоколи обміну даними», так як саме вона визначає алгоритми обміну інформацією між абонентами бездротових інформаційно-комунікаційних мереж.

В основі даних алгоритмів лежать фізичні властивості радіоліній та властивості частотних діапазонів. Враховуючі перелічені властивості можна розрахувати швидкість обміну інформацією між абонентами ІКМ та дальність її розповсюдження.

Ще одним параметром, яким неможливо нехтувати при дослідженні бездротових ІКМ, є завадостійкість. Саме цей параметр визначає ймовірність прийняття сигналу на фоні завад та залежить від потужності передавальної апаратури.

Отже в сукупності ці параметри мають великий вплив на вибір розміру пакетів у відповідних протоколах. Так, наприклад, для стандартів IEEE 802.11 прийнято пакетну передачу з 48-бітовими адресами пакетів, який складається в свою чергу з відповідних кадрів (кадри даних, контрольні кадри, кадри управління). Саме довжина кадрів й має великий вплив на пропускну здатність ІКМ. Але пропускна здатність, яку використовують для передачі даних різних інформаційних категорій станції ІКМ не дорівнює значенню пропускної здатності каналу. Це пов'язано із введенням додаткових часових інтервалів відстрочки та передаванням додаткових контрольних пакетів, які передбаченні відповідним стандартом. Звісно введення додаткових пакетів зменшує пропускну здатність бездротової ІКМ порівняно з пропускну здатністю каналу. Тому виникає актуальне питання щодо дослідження зміни пропускної здатності бездротових ІКМ.

Огляд останніх досліджень і публікацій. З аналізу літератури слідує, що для дослідження пропускної здатності бездротових ІКМ стандарту IEEE 802.11 використовуються методи теорії систем масового обслуговування.

Так в роботі [3] авторами запропоновано проводити дослідження пропускної здатності за допомогою марковських ланцюгів, призначених для математичного описання конкурентних вікон. Під конкурентним вікном розуміється час відстрочки,

який вимірюється слотах тривалістю τ , і характеризує ймовірність початку передачі даних відповідною станцією.

В роботі [4] запропоновано дослідження пропускну здатності для розподіленого режиму управління з урахуванням довжини пакетів, що передаються. При цьому описуються два режими роботи. Якщо довжина пакету не перевищують деякого встановленого значення, то передача пакетів відбувається за допомогою механізму базового доступу. В іншому випадку передбачений механізм Request-To-Send/Clear-To-Send (RTS/CTS).

Формулювання завдання та цілей статті. Метою статті є розробка математичної моделі дослідження пропускну здатності бездротових ІКМ шляхом врахування змінної довжини пакетів, кількості станцій та ймовірності початку передачі даних станцією.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо бездротову ІКМ з N станцій, яка працює в розподіленому режимі управління, тобто коли функції управління розподілені між всіма станціями ІКМ. Припустимо, що всі станції є статистично однорідними, що означає однаковий ймовірнісний розподіл довжин пакетів.

Для врахування колізій, тобто випадків, коли дві або більше станцій намагаються провести передачу, застосовано віртуальні слоти та їх класифікація. Класифікація цих слотів була вперше запропонована Б'янкі [4]. Загальний час роботи ІКМ розділено на неоднорідні віртуальні слоти, так що на початку будь-якого з них кожна станція зменшує на одиницю свій лічильник відстрочки. Станція ІКМ може почати передачу, якщо значення її лічильника досягає 0. Такий віртуальний слот може бути:

1. «Порожній» слот – віртуальний слот, під час якого жодна з станцій не веде передачу.

2. «Успішний» слот – віртуальний слот, під час якого одна й тільки одна станція веде передачу.

3. «Колізійний» слот – віртуальний слот, під час якого передача ведеться двома або більше станціями.

Припустимо, що ймовірність початку передачі даної станції в даному слоті не залежить ні від попереднього стану, ні від стану інших станцій та дорівнює одному й тому ж значенню P_τ .

Під станом станцій ІКМ слід розуміти стан апаратури, яка в даний момент часу може знаходитись в одному з режимів: прийом, передача, бездіяльність.

Виходячи з цього, ймовірності того, що довільно обраний віртуальний слот буде «Порожній» – P_e , «Успішний» – P_o , «Колізійний» – P_k визначено наступними виразами:

$$P_e = (1 - P_\tau)^N;$$

$$P_o = NP_\tau (1 - P_\tau)^{N-1}; \quad (1)$$

$$P_k = 1 - P_e - P_o.$$

Враховуючи, що:

1. ймовірність колізії в умовах насичення та ідеального каналу не залежить від розміру пакету, що передається

2. тривалості t_o та t_k «успішного» та «колізійного» слотів не залежать від числа повторювань передачі пакету та визначаються лише функцією розподілу ймовірностей $F(x)$ розміру пакетів даних $D \in [0, D_{\max}]$, отримано вирази (2) та (3) для знаходження середніх значень тривалості t_o та t_k «успішного» та «колізійного» слотів:

$$t_o = (1 - F(D_1))(t_{RTS} + t_{CTS} + 2\sigma + 2SIFS) + H + E(D) + t_{ACK} + 2\sigma + SIFS + DIFS; \quad (2)$$

$$t_k = E(D^*) + \sigma + EIFS, \quad (3)$$

де D_1 – поріг RTS/CTS, нормалізований пропускну здатністю каналу S_c ;

$$t_{RTS}, t_{CTS} = t_{ACK};$$

H – проміжки часу необхідні для передачі відповідно кадрів RTS, CTS та ACK, а також заголовка DATA;

σ – затримка передачі, прийнята однаковою для всіх станцій;

$E(D)$ – середнє значення часу передачі пакету довжиною $D \in [0, D_{\max}]$;

$E(D^*)$ – середня тривалість колізії (середній час необхідний для передачі самого довгого кадру, який потрапив у колізію):

$$E(D^*) = P_k^{-1} \sum_{k=2}^{N-1} \left(\frac{N}{k}\right) P_\tau^k (1 - P_\tau)^{N-k} E(D^*/k), \quad (4)$$

де $E(D^*/k)$ – середня тривалість колізії, в якій задіяні k станцій.

Для знаходження $E(D^*/k)$ необхідно, щоб функція розподілу $F(x)$ була однаковою для всіх станцій й мала місце похідна $f(D) = \frac{dF}{dD}$ для всіх

$D \in [0, D_{\max}]$. Виходячи з цього, отримано:

$$E(D^*/k) = H + D_1 - (H - t_{RTS})(1 - F(D_1))^k - \int_0^{D_1} (F(x) + 1 - F(D_1))^k dx. \quad (5)$$

Після підстановки (5) в (4) та проведення перетворень отримано:

$$E(D^*) = H + D_1 - \frac{(H - t_{RTS})}{P_k} Z_n(0) - \int_0^{D_1} (F(x) + 1 - F(D_1)) dx, \quad (6)$$

де $Z_n(x) = (1 - P_\tau (F(D_1) - F(x)))^N - (1 - P_\tau)^N - NP_\tau (F(x) + 1 - F(D_1))(1 - P_\tau)^{N-1}$.

Таким чином розраховуються тривалості t_o та t_k «успішного» та «колізійного» слотів.

Пропускна здатність в умовах насичення та ідеального каналу визначається як:

$$S = \frac{S_c E(D)}{E(t_v)} \quad (7)$$

де t_v – проміжок часу між двома послідовними успішними передачами, що має назву віртуального часу передачі;

$E(t_v)$ – середнє значення t_v .

Тоді

$$E(t_v) = P_0 \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{l-1} \left(t_o + kt_k + (1-l-k) \sigma \left(\frac{1-l}{k} \right) P_k^k P_e^{l-1-k} \right).$$

Після розрахунку суми було отримано:

$$E(t_v) = t_o + \frac{P_k}{P_o} t_k + \frac{P_e}{P_o} \sigma. \quad (8)$$

Середнє значення часу передачі пакету довжиною $D \in [0, D_{max}]$ враховує пропускну здатність каналу й розраховано за наступним виразом:

$$E(D) = \frac{D}{S_c}. \quad (9)$$

Після підстановки (9) в (7) та проведення перетворень отримано:

$$S = \frac{D}{E(t_v)}. \quad (10)$$

Таким чином видно, що пропускна здатність каналу має прямо пропорційну залежність від довжини пакету, який може передаватися протягом віртуального слоту t_v .

Найбільш суттєвий вплив на коефіцієнт використання пропускну здатності здійснюють наступні параметри математичної моделі: кількість станцій в бездротовій ІКМ та довжина пакету, що передається.

Працездатність запропонованої моделі було перевірено експериментально. Для проведення експерименту були використанні вхідні дані, що наведені в табл. 1.

В експерименті за мету поставлено знаходження пропускну здатності в залежності від довжини пакету даних для різних ймовірностей початку передачі однієї з станцій.

Таблиця 1

Вхідні дані для експерименту

№ з/п	Назва	Значення
1	Кількість станцій	16
2	Довжина пакету (байт)	124; 512; 1024
3	Ймовірність початку передачі даних станцією	0,05; 0,1; 0,25

На рис. 1 зображені графіки залежності пропускну здатності від довжини пакету даних (124, 512, 1024 байт) для пропускну здатності каналу 5 МБіт/с при ймовірності початку передачі однієї з станцій 0,05.

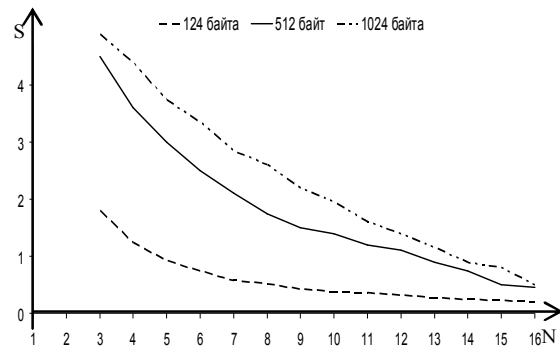


Рис. 1. Пропускна здатність при $P_\tau = 0,05$

На рис. 2 зображені графіки залежності пропускну здатності від довжини пакету даних (124, 512, 1024 байт) для пропускну здатності каналу 5 МБіт/с при ймовірності початку передачі однієї з станцій 0,1.

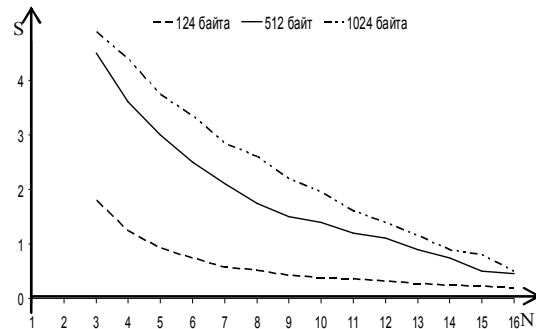
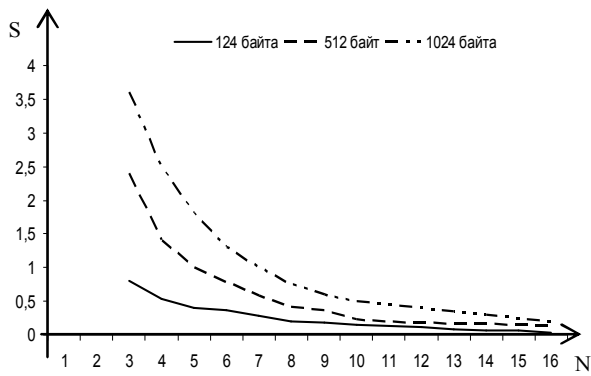


Рис. 2. Пропускна здатність при $P_\tau = 0,1$

На рис. 3 зображені графіки залежності пропускну здатності від довжини пакету даних (124, 512, 1024 байт) для пропускну здатності каналу 5 МБіт/с при ймовірності початку передачі однієї з станцій 0,25.

Результати експериментів свідчать про те, що при збільшенні ймовірності початку передачі даних станції пропускна здатність нелінійно зменшується.

Рис. 3. Пропускна здатність при $P_t = 0,25$

Висновки

1. Розроблена математична модель дослідження пропускну здатності ІКМ надає можливість щодо проведення розрахунків та визначення пропускну здатності в залежності від зміни параметрів та структури самої мережі.

2. Використання даної моделі дозволить на етапі проектування ефективно проводити оптимізацію структури мережі з метою збільшення пропускну здатності бездротових ІКМ зі збільшенням кількості її абонентів.

3. Застосування математичної моделі дослідження пропускну здатності дозволяє отримати технічні характеристики ІКМ, необхідні для прийняття рішення щодо доцільності розгортання ІКМ як складової системи управління військами.

Список літератури

1. Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. / П. Рошан, Дж. Лизри – М.; С-Пб; К., 2004 – 520 с.
2. Вишневський В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневський,

А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

3. Wu Haitao A simple model of IEEE 802.11 Wireless LAN / Haitao Wu, Yong Peng, Keping Long, Shiduan Cheng // Proceedings of ICII 2001. – 2001. – Oct. – P. 514-519.

4. Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function / G. Bianchi // IEEE journal on selected areas in communications. – 2000. – 18 (3). – March. – P. 535-547.

5. Столинс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. / В. Столинс – СПб.: Питер, 2003. 783 с.: ил. – (Серия «Классика computer science»).

6. Романов А.И. Телекоммуникационные сети и управление / А.И. Романов. – К.: ВПЦ „Киевский Университет”, 2003. – 247 с.

7. Бойченко О.С. Оцінка пропускну здатності перспективних бездротових інформаційно-комунікаційних мереж командних пунктів/ О.С. Бойченко, В.В. Воротников, І.О. Канкін // Математичне моделювання: наук. ж. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. – № 1 (24). – С. 55-57.

8. Міночкін А.І. Архітектура перспективної мобільної компоненти тактичних мереж зв'язку Збройних сил України / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // Збірник наукових праць. – К.: ВІП НТУУ „КПІ”, 2004. – № 5. – С. 107-115.

9. Клейнрок Л. Коммуникационные сети (Стохастические потоки и задержки сообщений) / Л. Клейнрок – М.: Наука, 1970. – 256 с.

10. Климович О. К. Застосування перспективних інтелектуальних систем управління під час створення Єдиної автоматизованої системи управління Збройними Силами України / О. К. Климович // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ. Збірка тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. 22 – 24 травня 2013 р. – Львів: Друкарня Академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, 2013. – 165 с.

Надійшла до редколегії 13.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співр. Г.А. Кучук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

О.С. Бойченко, В.В. Воротников, Ю.А. Кулаков

В статье предложено исследование пропускной способности беспроводных ИКС при передаче данных различных информационных категорий. Нахождение пропускной способности беспроводных ИКС реализовано с использованием методов, которые основаны на теории массового обслуживания. Проведена оценка пропускной способности в зависимости от структуры ИКС и длины пакетов, которые используются для передачи разных информационных категорий.

Ключевые слова: пропускная способность, беспроводные информационно-коммуникационные сети, виртуальные слоты, коллизия, потеря пакетов.

MATHEMATICAL MODEL OF STUDIES BANDWIDTH OF WIRELESS WIRELESS INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS

O.S. Boychenko, V.V. Vortnikov, Y.O. Kulakov

The paper proposed study bandwidth wireless ICN data transmission of different information categories. Finding the bandwidth of wireless ICN implemented using methods that are based on queuing theory. Assessment of bandwidth depending on the structure and length of the ICN packet are used to transmit different information categories.

Keywords: bandwidth, wireless information and communication networks, virtual slots, collision, packet loss.