

## Оцінка пропускної здатності перспективних бездротових інформаційно-комунікаційних мереж командних пунктів

БОЙЧЕНКО О.С., ВОРОТНИКОВ В.В., КАНКІН І.О.

Житомирський військовий інститут ім. С.П.Корольова  
Національного авіаційного університету

В статті проводиться оцінка пропускної здатності перспективних бездротових інформаційно-комунікаційних мереж командних пунктів.

Ключові слова: пропускна здатність, бездротові мережі, командні пункти.

В статье проводится оценка пропускной способности беспроводных информационно-коммуникационных сетей командных пунктов.

Ключевые слова: пропускная способность, беспроводные сети, командные пункты

The estimation of carrying capacity of off-wire of informatively-communication networks of command posts is conducted in the article.

Keywords: carrying capacity, off-wire networks, command posts

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку збройних сил відбувається новий якісний стрибок в області управління військами. Створення нових систем управління військами на за допомогою бездротових інформаційно-комунікаційних мереж (ІКМ) є однією з основних задач, визначених Міністром оборони України в плані розвитку збройних сил України [5].

Визначення характеристик бездротової інформаційно-комунікаційної мережі до введення в експлуатацію має першочергове значення. Це дозволяє висунути вимоги щодо характеристик інформаційно-комунікаційних мереж на стадії проектування та оцінити доцільність розробки відповідної системи. Вирішення цієї проблеми можливо шляхом оцінки пропускної здатності бездротової інформаційно-комунікаційної мережі, яка є однією з основних параметрів мережі.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Пропускна здатність бездротових інформаційно-комунікаційних мереж стандарту IEEE 802.11 під управлінням механізму DCF досліджувалась за допомогою аналітичних методів аналізу систем масового обслуговування.

Відомі методи оцінки пропускної здатності ІКМ використовують припущення, що бездротові ІКМ працюють в режимі ідеального каналу, тобто за відсутності прихованих станцій та шумів, а також за статистичною однорідністю станцій, яка полягає в однаковому ймовірнісному розподілу довжин пакетів, які обираються кожною станцією з черги.

Згідно підходу, запропонованому Б'янкі [8] для опису моделі мережі застосовується дискретна цілочисельна шкала роботи мережі: моменти  $t$  і  $t+1$  відповідають початку наступних віртуальних слотів, які йдуть один за одним. Ці віртуальні слоти не однакові та кожен з них може представляти собою: «порожній» слот відстроки  $\sigma$ , в якому жодна станція не веде передачу; «успішний» слот, в якому тільки одна із станцій передає пакет; «колізійний» слот, в якому дві та більше станцій намагаються здійснити передачу.

Згідно моделі Калі [7] припускається, що час відстроки початку передачі пакету не залежить від числа повторювань передачі та обирається з геометричного розподілу.

Припущення в цих запропонованих моделях еквівалентні: будь-яка станція може почати передачу на початку кожного слоту.

Враховуючи те, що для оцінки пропускної здатності бездротових ІКМ використовується методи, які засновані на теорії масового обслуговування постає актуальне завдання щодо узагальнення існуючих методів оцінки пропускної здатності перспективних бездротових ІКМ командних пунктів на основі стандарту IEEE 802.11 [2].

**Формулювання завдання та цілей статті.** Метою роботи є оцінка пропускної здатності перспективних бездротових ІКМ командних пунктів на основі стандарту IEEE 802.11.

**Виклад основного матеріалу.** Початковими даними для оцінки пропускної здатності перспективних бездротових ІКМ командних пунктів є:

- класифікація віртуальних слотів, яка була запропонована Б'янкі [8];
- бездротова інформаційно-комунікаційна мережа складається з  $N$  станцій, які є статистично однорідними [1];
- необхідний час на передачу даних між абонентами через ІКМ від 5 с до 10 с;
- інформаційний об'єм основних документів (бойовий наказ, робоча карта, попереднє розпорядження, бойове розпорядження, бойове розпорядження за видами забезпечення, бойові донесення, розвідувальні донесення, планова таблиця взаємодії) – від 20 до 10000 кБ;
- пропускна здатність ІКМ - до 30000 кбіт/с.

Виходячи з того, що станція може почати передачу на початку кожного слоту з однаковою ймовірністю  $P_{\tau}$  та час відстроки початку передачі пакету обирається з геометричного розподілу, були отримані вирази для ймовірностей появи «порожнього» слоту  $P_{\sigma}$ , «успішного» слоту  $P_{\sigma}$ , «колізійного» слоту  $P_k$ :

$$\begin{aligned} P_e &= (1 - P_\tau)^N; P_0 = NP_\tau(1 - P_\tau)^{N-1}; \\ P_k &= 1 - P_e - P_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Враховуючи, що:

- 1) ймовірність колізії в умовах насичення та ідеального каналу не залежить від розміру пакету, що передається;
- 2) тривалості  $t_0$  та  $t_k$  «успішного» та «колізійного» слотів не залежать від числа повторювань передачі пакету й визначаються лише функцією розподілу ймовірностей  $F(x)$  розміру пакетів даних  $D \in [0, D_{\max}]$ ;

середні значення  $t_0$  та  $t_k$  можна визначити як:

$$t_0 = (1 - F(D_1))(t_{RTS} + t_{CTS} + 2\sigma + 2SIFS) + H + E(D) + t_{ACK} + 2\sigma + SIFS + DIFS; \quad (2)$$

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

де  $D_1$  – поріг RTS/CTS, нормалізований швидкістю каналу  $V_c$ ;  $t_{RTS}$ ,  $t_{CTS}$  =  $t_{ACK}$  та  $H$  – проміжки часу необхідні для передачі відповідно кадрів RTS, CTS та ACK, а також заголовка DATA;  $\sigma$  – затримка передачі, прийнята однакою для всіх станцій;  $E(D)$  – середнє значення  $D$ ;  $E(D^*)$  – середня тривалість колізії (середній час необхідний для передачі самого довгого кадру, який потрапив у колізію):

$$E(D^*) = P_k^{-1} \sum_{k=2}^{N-1} \binom{N}{k} P_\tau^k (1 - P_\tau)^{N-k} E(D^*|k) \quad (4)$$

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

Для знаходження  $E(D^*|k)$  необхідно, щоб функція розподілу  $F(x)$  була однакою 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:

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

де

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

Таким чином розраховуються тривалості  $t_0$  та  $t_k$  «успішного» та «колізійного» слотів.

Пропускна здатність в умовах насичення та ідеального каналу визначається як:

$$S = \frac{V_c E(P)}{E(t_v)}, \quad (7)$$

де  $t_v$  – проміжок часу між двома послідовними успішними передачами, що має назву віртуального часу передачі;  $E(t_v)$  – середнє значення  $t_v$ . Тоді

$$Z(t_v) = P_0 \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{l-1} (T_0 + kT_k + (l-1-k)\sigma) \left(\frac{l-1}{k}\right) P_k^k P_e^{l-1-k}$$

Після розрахунку суми було отримано:

$$E(t_v) = T_0 + \frac{P_k}{P_0} T_k + \frac{P_e}{P_0} \sigma \quad (8)$$

Для знаходження пропускну здатності в умовах насиченості ймовірність передачі  $P_\tau$  визначено, як:

$$P_\tau = \frac{1}{E(b) + 1} \quad (9)$$

де  $E(b)$  – середній час відстрочки.

Використовуючи стандартні часові інтервали для передачі відповідних кадрів протоколу IEEE 802.11 для швидкості передачі 11 Мбп/с [6] такі, як час передачі заголовка DATA=121 мкс, час передачі ACK  $t_{ACK}=106$  мкс, час передачі  $RTS_{RTS} = 111$  мкс, інтервал часу SIFS=10 мкс, інтервал часу після успішної передачі пакету DIFS=50 мкс, інтервал часу після невдалої спроби передачі пакету EIFS=212 мкс та затримка передачі, прийнята однакою для всіх станцій  $\sigma=20$  мкс отримано залежність пропускну здатності бездротової ІКМ від кількості станцій в цій мережі, яка зображена на рис.1.

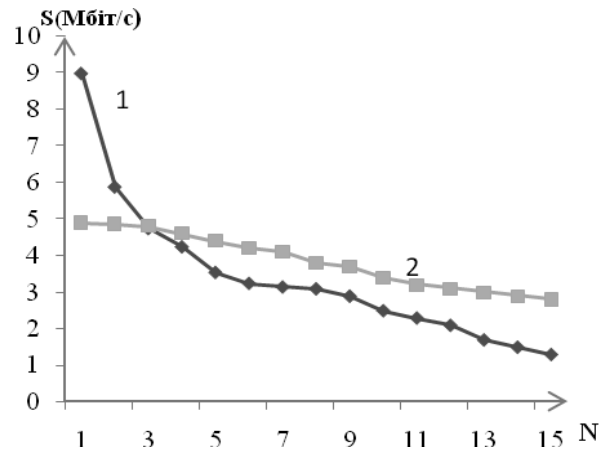


Рис. 1. Залежність пропускну здатності бездротової інформаційно-комунікаційної мережі від кількості станцій: 1) загальна оцінка; 2) метод Б'янки

На рис. 1 зображено залежність пропускну здатності бездротової ІКМ від кількості станцій на базі моделі Б'янки [8].

Зі збільшенням кількості станцій в бездротовій ІКМ командних пунктів пропускна здатність каналу нелінійно зменшується, що пояснюється підвищенням ймовірності появи колізії та призводить до збільшення часу на обробку одного пакету, який надійшов з однієї з  $N$  станцій.