

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЗВ'ЯЗНОСТІ ВУЗЛІВ МОБІЛЬНОЇ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ АЕРОПЛАТФОРМАМИ

Новіков В.І., Лисенко О.І., Алексєєва І.В.

Інститут телекомунікаційних систем КІП ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: novikov1967@ukr.net, lysenko.a.i.1952@gmail.com

Improvement of the mathematical model of assessment of connection of mobile wireless sensory network nodes with telecommunication airplanes

The essence of improving the model, which determines its novelty, is that the proposed methods of joint use of a set of analytical models for assessing the reliability of data transmission in radio channels with a set of analytical models for predicting the movement of mobile sensor nodes. This allowed not only to assess the presence of connectivity of a given reliability, but also to predict its duration in a rapid and unpredictable change in the position of mobile sensor nodes.

Актуальним питанням на сьогодні є необхідність оперативної організації зв'язку в районах з відсутньою або зруйнованою мережною інфраструктурою в наслідок надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру. Це можливо шляхом розгортання мобільних безпроводових сенсорних мереж (МБСМ) із використанням телекомунікаційних аероплатформ (ТАП). Особливо актуально застосування ТАП на основі мініатюрних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що є більш дешевими і оперативними на відміну від великих висотних аероплатформ [1].

Мобільні сенсорні вузли (МСВ) таких мереж можуть вільно переміщуватись в заданому районі та з'єднуватись між собою безпосередньо – у зоні радіо видимості, або із ретрансляцією пакетів через сусідні МСВ або ТАП, утворюючи таким чином багатоланкові мережі довільної структури [2]. Однак швидке та непередбачуване переміщення МСВ в таких мережах призводить до втрати зв'язності між ними, а отже до труднощів при побудові маршруту та передачі даних між ними. Для того, щоб визначити кожне наступне положення ТАП у просторі необхідно оперативно оцінити наявність та час існування зв'язності кожної пари МА, що потребує удосконалення математичної моделі оцінки зв'язності вузлів МБСМ із ТАП.

Для удосконалення моделі оцінки зв'язності вузлів МБСМ із ТАП запропоновано поєднати аналітичні моделі для оцінки достовірності передачі повідомлень в радіоканалах з аналітичними моделями переміщення МСВ [3].

Показано, що максимальна дальність безпосереднього радіозв'язку між парою вузлів мережі обмежується, по-перше, енергетикою радіолінії, при якій відношення сигнал-шум в точці прийому не менше заданої величини для забезпечення заданої ймовірності пакетної помилки (PER) при заданому виді сигнально-кодової конструкції (СКК).

По-друге, максимальна дальність безпосереднього радіозв'язку між парою вузлів мережі визначається ефективністю методу множинного доступу (МД) до загального каналного ресурсу. Якщо протяжність радіолінії збільшується, то кількість колізій при організації МД зростає, а отже зростає затримка передачі та зменшується пропускна здатність. Тому максимальну дальність радіозв'язку можна визначити граничним значенням пропускної здатності каналу s^0 при заданих розмірі пакету даних L , інтенсивності трафіку G та швидкості передачі V . На довжину радіолінії ТАП-ТАП обмежень не має (окрім енергетики), оскільки метод МД, що використовується на ній, не залежить від нормованого часу поширення пакету.

Таким чином, для забезпечення заданих вимог до характеристик методів МД, потужність передавача слід обирати так, щоб забезпечити необхідний рівень PER на відстані, що визначається максимальним часом поширення пакету в стільниках МБСМ із ТАП.

Знаючи максимальну похилу дальність радіолінії МСВ-ТАП та допустимий кут місця для точці розміщення МСВ, можна визначити максимальний радіус стільника, створюваного ТАП. Так при куті місця 60^0 - 90^0 та при висоті ТАП $2600 \leq h < 3000$ м в щільно забудованому місті він становить $R \leq 1500$ м. Але враховуючи маневрування ТАП по колу з мінімальним радіусом та неточність його виводу, максимальний радіус зони стабільного покриття становитиме $R \leq 1450$ м.

Через свою мобільність МСВ не можуть постійно знаходитись в зоні радіо видимості інших МСВ і в зоні покриття ТАП, отже виникає практичний інтерес розрахунку тривалості зв'язності між МСВ, протягом якого вони можуть здійснювати інформаційний обмін. Для дослідження тривалості зв'язності між МСВ запропоновано декілька математичних моделей

переміщення МСВ в умовах прямої радіо видимості та з урахуванням ретрансляції. Визначимо *тривалість зв'язності* $T_{зв\ ij}$ пари вузлів (МСВ-МСВ або МСВ-ТАП) як час досягнення одним МСВ границі зони прямої радіо видимості з іншим МСВ (наприклад, час досягнення МСВ із точки B границі кола з центром в точці A та радіусом R , як показано на рис. 1). За допомогою математичного апарату тригонометрії матимемо наступне значення $T_{зв}$:

$$T_{зв} = \frac{AB \cos \varphi + \sqrt{R^2 - AB^2 \sin^2 \varphi}}{v},$$

де v – швидкість переміщення МСВ B , м/с;

φ – кут напрямку переміщення МСВ B .

Таким чином тривалість зв'язності прямо пропорційна радіусу зони покриття та обернено пропорційна швидкості переміщення МСВ. На величину тривалості зв'язності також впливає характер мобільності МСВ. Було виконано моделювання переміщення МСВ за 4-ма сценаріями, що, описують, наприклад, рух пошукової бригади під час рятувальної операції (рис. 3): 1) «марш» ($\varphi = const$, $v = const$); 2) «випадкові напрямки» ($\varphi = const$, $v = const$); 3) «випадкове блукання в полі» ($\varphi = random$, $v = const$, $l = const$); 4) «випадкове блукання в місті» ($l = const$, $v = const$, $\varphi = random \{0^0, 90^0, 180^0, 270^0\}$).

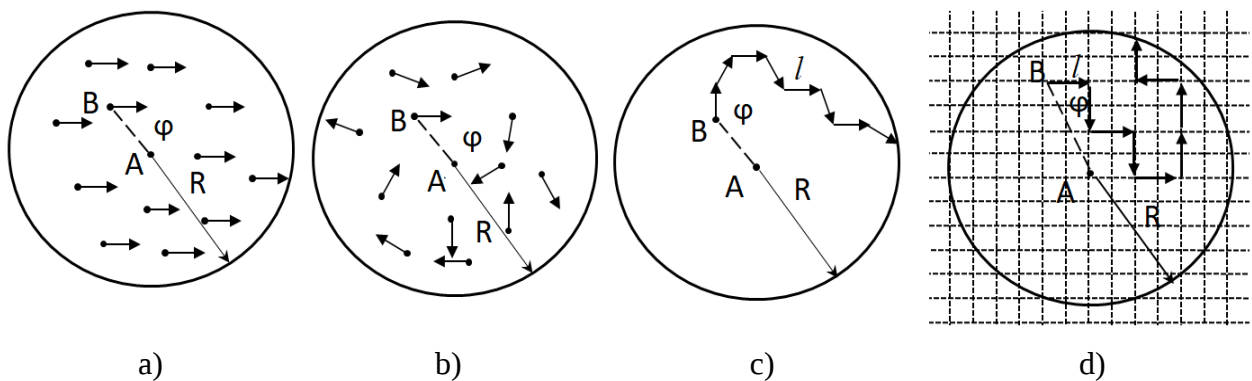
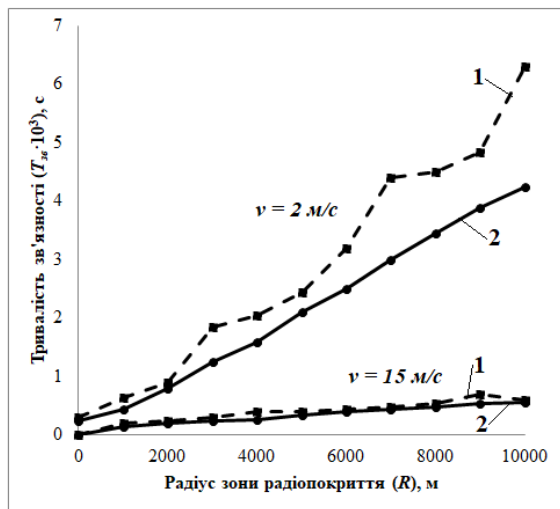


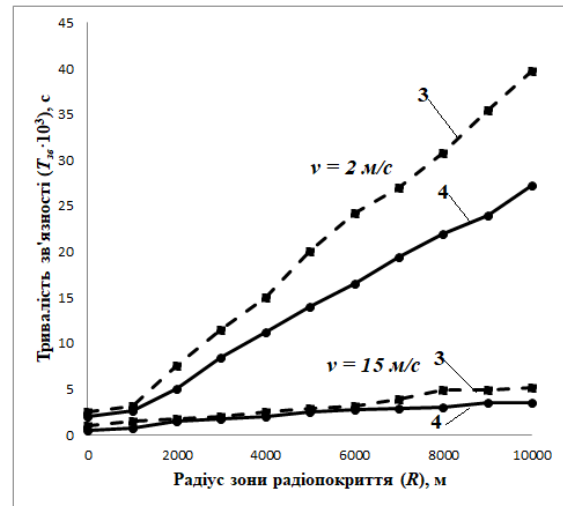
Рис. 1. Траєкторії руху вузлів МБСМ із ТАП в залежності від сценарію мобільності:

- 1 – «марш» (а), 2 – «випадкові напрямки» (б),
3 – «випадкове блукання в полі» (с), 4 - «випадкове блукання в місті» (д).

Результати моделювання приведені на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Залежність середнього часу досягнення МСВ границі зони покриття від радіусу зони при різних швидкостях і сценаріях переміщення: 1 – «марш» (а), 2 – «випадкові напрямки» (а), 3 – «випадкове блукання в полі» (б), 4 – «випадкове блукання в місті» (б).

Результати моделювання показують, що найбільші значення тривалості зв'язності відповідають сценарію «випадкове блукання в полі», а найменші – «випадкові напрямки» (при фіксованій швидкості переміщення вузлів v та радіусі зони покриття R). Так тривалість зв'язності з'єднання «ТАП-пішохід» на випадок «випадкових напрямків» становитиме в середньому 36 хв, а з'єднання «ТАП-транспортний засіб» - в середньому 5 хв.

Таким чином, удосконалена модель оцінки зв'язності вузлів МБСМ із ТАП дозволяє оцінювати наявність зв'язності між МСВ відповідно до заданої достовірності та прогнозувати її тривалість в умовах швидкого і непередбачуваного руху МСВ.

Література

1. Ильченко М. Е., Кравчук С. А. Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ. – К.: Наук. думка, 2008. – 580 с.
2. Бунин С.Г., Войтер А.П., Ильченко М.Е., Романюк В.А. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами. – К.: НПП «Издательство «Наукова думка» НАН Украины». – 2012. – 444 с.
3. Новіков В. І. Математичні моделі, методи і алгоритми оптимізації показників функціонування безпроводових сенсорних мереж із мобільними сенсорами та телекомунікаційними аероплатформами [Текст] / В.І. Новіков, О.І. Лисенко, С.В. Валуйський, О.Г. Гуйда // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. – 2020. Том 31 (70) № 3 2020 Частина 1. – С. 54 – 64.