УДК 004.725.7 **doi: 10.26906/SUNZ.2021.4.063**

В. М. Ткачов, К. Р. Гальченко, А. А. Коваленко, О. А. Єрошенко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ СТАНДАРТУ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У ВИСОКОМОБІЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. В статті розглянуто особливості функціонування високомобільних комп'ютерних мереж в умовах мінливості середовища передачі даних, його впливу на швидкість передачі даних між вузлами та методику визначення критеріїв вибору різних стандартів безпровідної передачі даних. **Метою** статті є розробка критеріальної бази селективного вибору стандартів безпровідної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах в залежності від стану середовища передачі даних та віддаленості вузлів між собою. Отримані **результати** дозволяють: виокремити науково-прикладну задача розробки критеріальної бази селективного вибору стандартів безпровідної передачі даних у окремий клас задач у області рухомих комп'ютерних мереж; продовжити подальший розвиток методики підвищення живучості високомобільних комп'ютерних мереж в умовах мінливості пропускної здатності каналів зв'язку між вузлами; вирішити задачу розрахунку нестаціонарного коефіцієнта готовності відносно всіх інтерфейсів передачі корисних даних вузлами високомобільних комп'ютерних мереж. Дослідження дозволяють зробити **висновки**, що запропоновані критерії, за результатами модельного експериментування, дають ефект 15% скорочення часу на передачу обсягу даних в умовах нормального функціонування високомобільної комп'ютерної мережі у гетерогенному просторі та динамічною зміною відстані між вузлами мережі за наперед заданою траєкторією руху. Сформульовано напрями подальшої роботи, зокрема запропоновано проведення ряду прикладних експериментів для виявлення закономірності функціонування реальних високомобільних мереж в умовах обмеженого енергетичного запасу ходу вузлів та впливу зовнішнього середовища на нього.

Ключові слова: високомобільна комп'ютерна мережа, критерій, стандарт передачі даних, IEEE 802.11.

Вступ

Постановка проблеми. Останнім часом високомобільні комп'ютерні мережі на платформі безпілотних літальних апаратів набули широкого застосування у різних галузях людської діяльності: промисловість, сільське господарство, військова справа тощо [1-2].

Одними з найпоширеніших проблем функціонування високомобільних комп'ютерних мереж є їх живучість, обмеженість запасу ходу вузлів, масштабованість. Частковим рішенням цих проблем присвячено ряд наукових праць теоретичного та прикладного характеру [3-5].

Однак, всі ці проблеми об'єднує, в першу чергу, енергетична складова. Адже, на виконання основної функції високомобільної комп'ютерної мережі, на етапі її планування [3], необхідно врахувати всі енергетичні затрати, які носять ймовірнісний характер та запланувати резервне значення енергетичного ходу вузла. Тому, як правило, розрахунки енергетичного запасу проводяться з огляду ймовірно-найгіршого сценарію розвитку ситуації під час функціонування такої мережі. З іншої сторони це має відображення у пролонгаційних стратегіях функціонування високомобільної мережі – чим оптимістичніший сценарій, тим більша ймовірність виконання основної (а також додаткових) функцій мережею. Класичним прикладом таких сценаріїв є подовження експлуатаційного часу функціонування космічних апаратів, які виконують відділені місії та для яких не передбачається повернення на Землю [6-7].

Основна функція високомобільної комп'ютерної мережі, у більшості випадків, полягає у реєстрації, тимчасовому зберіганні та передачі даних [3]. З метою оптимального використання енергетичного запасу ходу вузлів високомобільної комп'ютерної мережі цікавим є саме процес передачі даних, який реалізується в межах одного-двох технологічних рішень: частота передачі даних (час автономної роботи вузла) та стандарт передачі даних.

Ці рішення сильно пов'язані: в залежності від стандарту передачі даних дані можна передавати протягом часу, який визначається пропускною здатністю каналу зв'язку. При цьому, рухомість вузлів, постійно змінювана відстань між ними – вносить свої особливості у використання того чи іншого стандарту передачі даних. Саме тому більшість мобільних платформ використовують, як правило, один стандарт передачі даних.

Підхід, побудований на використанні різних стандартів безпровідної передачі даних, в залежності від стану середовища, власне, мережі або конкретного вузла високомобільної комп'ютерної мережі – носить назву селективного. Використання селективного підходу, де задіяні різні технічні рішення для роботи різних стандартів безпровідної передачі даних є перспективним напрямом у вирішенні проблеми раціонального використання енергетичного запасу вузла високомобільної комп'ютерної мережі. Однак на теперішній час доволі слабко розвита концепція даного рішення.

Таким чином, актуальною є науково-прикладна проблема забезпечення надійної та швидкої передачі даних в високомобільних комп'ютерних мережах шляхом введення селективності стандартів за відповідними інтерфейсами, за якими може здійснюватися передача даних між вузлами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед публікацій, у яких порушується зазначена проблема та пропонуються рішення, найбільш цікавими є наступні.

У роботі [8] автором, за результатами проведених досліджень, визначено основні критерії, за якими

© Ткачов В. М., Гальченко К. Р., Коваленко А. А., Єрошенко О. А., 2021

здійснюється вибір безпровідних мереж, для використання у системах автоматизації технологічних процесів у сфері нафтогазового комплексу. Автор оперує поняттями «жорстка детермінованість поведінки» та «забезпечення функцій реального часу», при цьому важливим критерієм при виборі стандарту передачі даних в конкретних мережах, які відповідають введеним визначенням, на думку автора, є критерій «відкритості мережі». Основний довід полягає у інтеграції в єдину систему технологічних пристроїв передачі даних (полінгові мережі) від різних виробників за рахунок використання принципів відкритих систем. Однак, хоча автор акцентує увагу на створенні засад до формування методичної бази щодо проведення вибору безпровідних спеціалізованих цифрових мереж (та стандартів безпровідної передачі) для об'єктів вузької спрямованості – нафтогазового комплексу, – в роботі не зазначено, яким чином має бути організоване середовище обміну даними у разі унеможливлення використання вказаних рішень у разі зміни, наприклад, проникної здатності самого середовища. Недоліком вказаного підходу є те, що у критичній інфраструктурі нафтогазового комплексу, про яку пише автор, відсутні заходи щодо функціонування мережі у аварійних ситуаціях.

У науковій публікації [9] представлено опис архітектури літаючої комп'ютерної мережі, що швидко розгортається, для екстрених служб, яка пропонується використовуватися у разі стихійного лиха. Розглянуто різні сценарії застосування БПЛА при груповій взаємодії, а також особливості використання різних стандартів передачі даних. Наведено обґрунтування вибору протоколів для організації взаємодії між вузлами в розглянутій мережі. Для запропонованої архітектури літаючої мережі, що швидко розгортається, для екстрених служб розглянуті та описані основні елементи, сценарії застосування: для збору даних з сенсорних полів і надання послуг зв'язку з передачі даних для цілей передачі голосової інформації, представлений підхід щодо використання прив'язаних висотних безпілотних платформ для організації високошвидкісного безпровідного зв'язку на великі відстані прямої видимості. У якості головного недоліку є те, що автори не акцентують увагу при такому розмаїтті технологічних застосунків на проблему обмеженого ходу вузлів літаючих мереж. Також відсутні рекомендації з забезпечення надійності каналів передачі даних між вузлами, які покидають зону видимості для обміну даними в межах стандартів передачі даних, які заявлені у роботі.

У роботі [10] авторами пропонується для використання у сферах високоточного землеробства, управління угіддями і рослинництва безпровідні технології з використанням концепту IoT, у тому числі на мобільній платформі.

В статті були розглянуті різні способи передачі даних, їх переваги та недоліки в енергетичному плані, залежність від зовнішніх факторів, радіус дії та способу передачі інформації.

Основний недолік запропонованого підходу полягає у наявності невирішеної задачі масштабованості вказаного технологічного рішення та відсутності стратегії функціонування такої мережі у разі її реконфігурації, внаслідок виходу з ладу опорних вузлів.

Мета статті є розробка критеріальної бази селективного вибору стандартів безпровідної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах в залежності від стану середовища передачі даних та віддаленості вузлів між собою.

Основна частина

Нехай високомобільна комп'ютерна мережа Υ складається з ℓ_q-вузлів, де $q=1,2,...,Q$. Кожен із ℓ_q -вузлів містить такі обов'язкові компоненти як: підсистему реєстрації інформації, сховище проміжних даних, модулі прийому-передачі та підсистему прийняття рішень (рис. 1).

Функціональна сутність зводить до наступної послідовності дій, яка описує можливі сценарії функціонування високомобільної комп'ютерної мережі, що не протирічить [3]:

- вузол через інтерфейс передачі службових даних ініціює або отримує вказівку на передачу корисних даних за одним із інтерфейсів;

- за заданою умовою на етапі проектування вузла [3] відбувається перевірка можливості передачі корисних даних через більш швидкісний інтерфейс, згідно стандарту безпровідної передачі даних, за яким він закріплений;

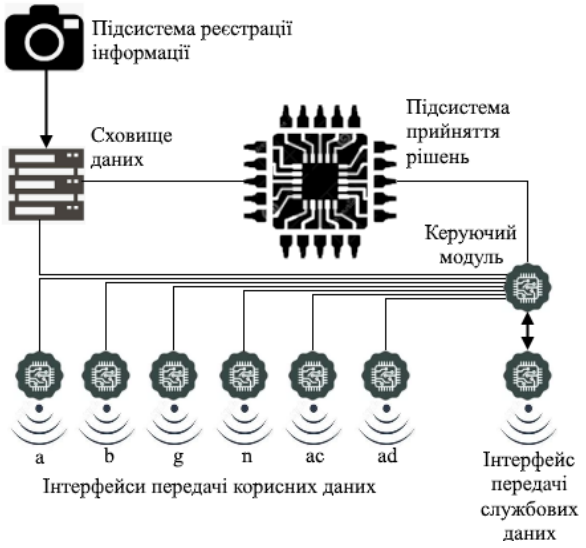

Рис. 1. Фрагмент структури вузла високомобільної комп'ютерної мережі

- підсистема прийняття рішень, згідно закладених алгоритмів на етапі проектування вузла [3], в залежності від поточного стану енергетичного запасу вузла, приймає рішення про передачу корисних даних через один із інтерфейсів.

В загальному вигляді формулювання критеріальної бази для реалізації функційної сутності може бути досягнуто побудовою загальної схеми марківського процесу.

Аналітичні вирази та конструктивні схеми обрання інтерфейсу передачі корисних даних для різних показників енергетичного запасу вузлів можуть

бути отримані для тих випадків, коли всі розподіли напрацювань до відмови інтерфейсу через нульову ефективність роботи (100% втрат пакетів даних) і часу на визначення робочого інтерфейсу для поновлення передачі даних в умовах динаміки руку вузла у просторі – є експоненційними, тобто процес функціонування вузла можна описати однорідним марківським процесом.

Варто зазначити, що припущення про експоненційність розподілу не завжди може бути виправданим. Особливо це стосується розподілу часу на визначення робочого інтерфейсу для поновлення передачі даних, оскільки припущення про незалежність того часу, який витрачається на визначення інтерфейсу підсистемою прийняття рішень відносно часу, який уже було витрачено (за умови багатоітераційного пошуку відповідного інтерфейсу) – не завжди може бути правдивим. Але, якщо в середньому напрацювання до нульової ефективності значно більше часу, який витрачається на визначення нового інтерфейсу передачі даних, то більшість показників енергетичного запасу вузлів не залежать від характеру розподілу часу на поновлення передачі даних через один із інтерфейсів.

В основі критерію готовності до передачі даних за одним із визначених інтерфейсів лежить визначення нестаціонарного коефіцієнта готовності відносно всіх інтерфейсів передачі корисних даних. Необхідно адаптувати відому методику визначення даного коефіцієнта [11] до поставленої задачі визначення критерія.

Нехай Ψ_z – інтерфейс передачі корисних даних, де $z = a, b, g, n, ac, ad$ – стандарт передачі даних, який характеризується своїми енергетичними затратами. Тоді $^{-}\Psi_z$ – стан інтерфейсу, в якому його використання неможливе через нульову ефективність, а $^{+}\Psi_z$ – стан інтерфейсу, коли його ефективність, відповідно до [12], дозволяє його використання. Позначимо через $\Psi_z(k)$ множину станів інтерфейсу, за яких можливий перехід до використання іншого інтерфейсу з більшим показником ефективності, тоді як $\psi_z(k)$ – множина станів інтерфейсу, який є найбільш ефективним для його використання.

Для кожного стану k ймовірність перебування вузла у стані передачі даних через один з інтерфейсів визначається як:

$$p'_k = \sum_{i \in \Psi(k)} \Delta_{ik}(t) - p_k(t) \sum_{i \in \psi(k)} \Delta_{ki} \ , \qquad (1)$$

де знак суми говорить про складання за всіма станами, які можуть бути у відповідних множинах;

Δ_{ik} – інтенсивність переходу інтерфейсу між станами з різними показниками ефективності його роботи;

$p_k(t)$ – ймовірність перебування вузла у стані передачі даних через один з інтерфейсів у момент часу t.

Для кожного переходу (перемикання) між інтерфейсами та відповідною кількістю станів можна скласти відповідну o-кількість рівнянь. Для визначення нестаціонарного коефіцієнту готовності інтерфейсу до передачі даних необхідно взяти $o-1$ рівнянь (1) і одне додаткове рівняння $\sum_{i=1}^{o} p_i(t) = 1$, а також початкові умови у вигляді $p_i(0) = p_i$, де нуль показує ймовірність стану у нульовий (початковий) момент часу функціонування вузла. Тобто, якщо відомо, що у момент часу $t = 0$ вузол мережі знаходиться у фіксованому стані взаємодії з іншими вузлами, то $p_i(0) = 1,\ p_k(0) = 0$ для решти станів, коли може бути задіяний інтерфейс для передачі даних ($i \neq k$).

Для знаходження показника енергетичного запасу ходу за вказаним критерієм вибору стандарту безпровідної передачі даних, вираз (1) необхідно перетворити у алгебраїчну форму шляхом застосування перетворення Лапласа (для $o-1$-рівнянь):

$$\begin{cases} s\varphi_k(s) - p_k = \sum\limits_{i \in \Psi(k)} \Delta_{ik}\varphi_i(s) - \varphi_k(s) \sum\limits_{i \in \psi(k)} \Delta_{ki}; \\ \sum\limits_{i=1}^{o} s\varphi_i(s) = 1, \end{cases} \qquad (2)$$

де $\varphi_i(s) = \int_0^{\infty} p_i(t) e^{-st} dt$ – перетворення Лапласа для $p_i(t)$.

Для зручності проведення розрахунків, необхідно перетворити (2) у такий вигляд:

$$\begin{cases} b_{11}\varphi_1(s) + b_{12}\varphi_2(s) + ... + b_{1o}\varphi_o(s) = c_1; \\ b_{21}\varphi_1(s) + b_{22}\varphi_2(s) + ... + b_{2o}\varphi_o(s) = c_2; \\ ... \\ b_{u1}\varphi_1(s) + b_{u2}\varphi_2(s) + ... + b_{uo}\varphi_o(s) = c_u, \end{cases} \qquad (3)$$

де b_{uo} – коефіцієнт при o-му члені в u-му рядку;

c_u – u-й вільний член.

Систему рівнянь (3) можна вирішити, застосувавши правило Крамера [12]:

$$\varphi_i(s) = \frac{D_i(s)}{D(s)}, \qquad (4)$$

де $D(s)$ – визначник системи рівнянь;

$D_i(s)$ – визначник системи рівнянь, в якому i-й стовпчик замінено на стовпчик вільних членів.

Далі знаходимо перетворення Лапласа нестаціонарного коефіцієнта готовності до передачі даних за одним із визначених інтерфейсів:

$$\varphi(s) = \sum_{i \in {}^{+}\Psi_z} \varphi_i(s) + \frac{1}{D(s)} \sum_{i \in {}^{+}\Psi_z} D_i(s). \qquad (5)$$

Для перетворення отриманого перетворення Лапласа необхідно виконати nfrey послідовність дій.

Крок 1. Візьмемо рівняння:

$$\varphi(s) = \frac{Y_0 + Y_1 s + Y_2 s^2 + ... + Y_v s^v}{X_0 + X_1 s + X_2 s^2 + ... + X_{v+1} s^{v+1}}, \qquad (6)$$

де X, Y – відомі коефіцієнти.

Крок 2. Знаходимо корені поліному:

$$X_0 + X_1 s + X_2 s^2 + ... + X_{v+1} s^{v+1} = 0 . \quad (7)$$

Нехай ці корені відповідають значенням $x_1, x_2, ..., x_{v+1}$. Це означає, що:

$$X_0 + X_1 s + ... + X_{v+1} s^{v+1} = \prod_{k=1}^{v+1} (s - x_k) . \quad (8)$$

Крок 3. Перетворюємо $\varphi(s)$ у форму простих дробів:

$$\varphi(s) = \chi_1 / i - x_1 - \chi_2 / i - x_2 + ... + \chi_{v+1} / i - x_{v+1} , \quad (9)$$

де χ – шукані коефіцієнти.

Крок 4. Перетворюємо $\varphi(s)$ у розширену форму:

$$\varphi(s) = \frac{\sum_{k=1}^{o} \chi_j \prod_{i \neq k} (s - x_i)}{(s - x_1) \times (s - x_2) \times ... \times (s - x_{v+1})} \rightarrow$$
$$\rightarrow \varphi(s) = \frac{\varphi_0 + \varphi_1 s + \varphi_2 s^2 + ... + \varphi_v s^v}{(s - x_1) \times (s - x_2) \times ... \times (s - x_{v+1})} . \quad (10)$$

де φ виражені через різні χ та x.

Крок 5. Поліноми (6) та (10) рівні тоді і тільки тоді, коли $Y_0 = \varphi_0$, $Y_1 = \varphi_1, ..., Y_v = \varphi_v$. Тоді з цих рівнянь визначають шукані коефіцієнти χ.

Крок 6. Після знаходження φ_k до $\varphi(s)$ у вигляді (9), можна застосувати зворотне перетворення Лапласа: з виразу

$$\varphi(s) = \sum_{k=1}^{m+1} \frac{\chi_k}{s - x_k} \quad (11)$$

можна визначити коефіцієнт

$$K(t) = \sum_{k=1}^{m+1} \chi_k e^{-x_k t} . \quad (12)$$

Однак, якщо $\varphi(s)$ має кратні корені знаменника, наприклад k рівних значень x_k, то (9) матиме наступний вигляд:

$$\varphi(s) = \\ = \chi_1 / i - x_1 + ... + \chi_k / (i - x_k)^{\xi} + ... + \chi_{v+1} / i - x_{v+1} , \quad (13)$$

де ξ – кратність кореня x_k. Тоді до членів виду $\chi_k / (i - x_k)^{\xi}$ застосовується відповідне зворотне перетворення Лапласа.

Таким чином, критерії вибору стандарту безпровідної передачі даних високомобільної комп'ютерної мережі та ступінь актуальності критерія в залежності від виконуваної основної функції вузлом мережі відповідно до отриманих коефіцієнтів (12) можна звести у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – **Критерії вибору стандарту безпровідної передачі даних**

Критерій вибору стандарту передачі даних	**Ступінь актуальності критерія в залежності від виконуваної основної функції вузлом мережі**	
	Джерело даних	Ретранслятор
Проникна здатність середовища	Висока	Середня
Кількість помилок при передачі даних	Висока	Висока
Мережна затримка	Висока	Низька
Еластичність трафіку	Середня	Висока
Інтенсивність потоку даних	Середня	Низька
Запас ходу вузла	Висока	Середня
Наповненість сховища даних	Висока	Відсутня

Модельний експеримент реалізований у середовищах моделювання GNS3 та ns-3. У якості вихідних даних задано траєкторію руху двох пар вузлів високомобільної комп'ютерної мережі, між якими відбувається обмін даними. Вузли рухаються у середовищі з різною проникною здатністю для стандартів безпровідної передачі даних. Фрагмент програмних налаштувань знаходиться в [13].

Згідно умов експерименту, час на виконання основної функції реєстрації інформації та передачі її в базовий стаціонарний вузол – 600 секунд. Інтенсивність передачі даних завжди максимальна (задача потокової передачі великих обсягів даних). Стандарти, доступні до вибору для передачі даних – згідно рис. 1.

На рис. 2 відображено поведінкову траєкторію вузлів в залежності від умов їх функціонування. Надписи над точками показують стандарти, які діють у обраний момент часу для обміну даними.

На рис. 3 показано динаміку запасу ходу в залежності від траєкторії руху вузлів у середовищі та передачі даних за допомогою обраного стандарту.

Аналіз отриманих результатів показує, що в межах виконання основної функції високомобільною комп'ютерною мережею шляхом зміни стандарту безпровідної передачі даних згідно розробленої критеріальної бази, можна забезпечити надійну та швидку передачу даних в високомобільних комп'ютерних мережах.

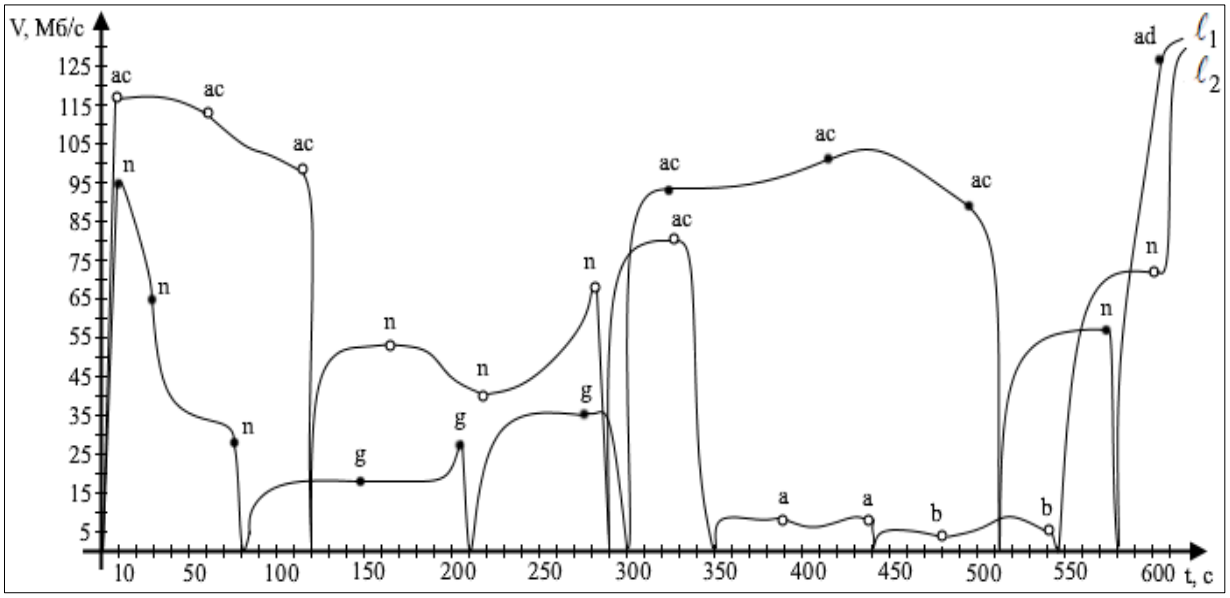

Рис. 2. Поведінкова траєкторія вузлів ℓ_1 та ℓ_2

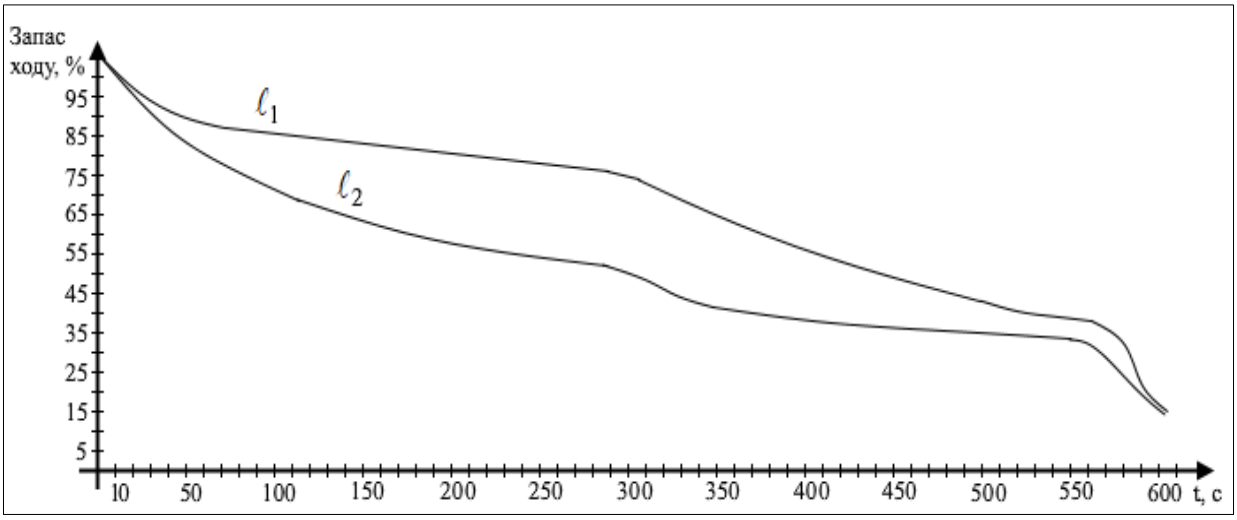

Рис. 3. Динаміка запасу ходу вузлів ℓ_1 та ℓ_2

Отриманий ефект складає до 15% скорочення часу на передачу обсягу даних в умовах нормального функціонування високомобільної комп'ютерної мережі у гетерогенному просторі та динамічною зміною відстані між вузлами мережі.

Технічно це реалізується шляхом введення селективності стандартів за відповідними інтерфейсами, за якими може здійснюватися передача даних між вузлами мережі.

Отже, розроблений теоретичний апарат, за якими визначаються критерії вибору стандарту безпровідної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах дає можливість при синтезі структури таких мереж отримати якісні характеристики з метою забезпечення мінімальних затримок при передачі даних в умовах обмеженого енергетичного запасу вузлів на мобільній платформі.

Це дозволяє мінімізувати ймовірність відмови функціонування вузла як в режимі джерела даних так і у режимі ретранслятора.

Висновки

В результаті проведених досліджень отримано наступні результати:

- сформульована науково-прикладна задача розробки критеріальної бази селективного вибору стандартів безпровідної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах в залежності від стану середовища передачі даних та віддаленості вузлів між собою;
- отримала подальший розвиток методика підвищення живучості високомобільних комп'ютерних мереж в умовах мінливості пропускної здатності каналів зв'язку між вузлами;
- вирішено задачу розрахунку нестаціонарного коефіцієнта готовності відносно всіх інтерфейсів передачі корисних даних вузлами високомобільних комп'ютерних мереж.

У якості подальшої роботи за даним напрямом пропонується провести ряд прикладних експериментів

з метою виявлення прихованих закономірностей функціонування реальних високомобільних мереж від оточуючого середовища в межах обмеженого енергетичного запасу ходу вузлів [14-16] та з метою розширення запропонованого теоретичного апарату визначення критеріїв вибору стандартів безпровідної передачі даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. H. Shakhatreh et al., "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges," in IEEE Access, vol. 7, pp. 48572-48634, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
2. Gonzalez, L., Montes, G., Puig, E., Johnson, S., Mengersen, K. & Gaston, K. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Conservation. Sensors 14, 13778–13793 (2016).
3. Ткачов В.М. Оптимізація мережного алгоритму функціонування комп'ютерних мереж підвищеної живучості на мобільній платформі на етапі їх проектування / В.М. Ткачов, А.А. Коваленко, Т.Г. Фесенко // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2021. – Т. 3 (65). – С. 143-147. – doi: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.143.
4. Ткачов В.М. Метод забезпечення живучості високомобільної комп'ютерної мережі / В.М. Ткачов, А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, Я.С. Ні // Сучасні інформаційні системи. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – Т. 5., № 2. – С. 159-165. – doi.org/10.20998/2522-9052.2021.2.24
5. L. Li, Z. Liu and C. Zhou, "A Model Checking Based Survivability Evaluation Framework of Wireless Network," 2019 IEEE 11th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), 2019, pp. 715-721, doi: 10.1109/ICCSN.2019.8905269.
6. Ткачев В.Н. Анализ применимости метода передачи данных с промежуточным хранением для обмена данными с удаленными космическими аппаратами / В.Н. Ткачев, А,А. Коваленко, В.О. Лебедев // Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2015) Дніпропетровськ, 25–27 листопада 2015 р. – 148-149 с.
7. Ерешко М. В., Борисов А. В. Концептуальные сценарии развития наземной космической инфраструктуры приёма целевой информации перспективной орбитальной группировки дистанционного зондирования земли // Космическая техника и технологии. – 2021. – №. 2 (33). – С. 119-129.
8. Бабчук С. М. Критерії вибору спеціалізованої безпровідної мережі для об'єктів нафтогазового комплексу //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – №. 3. – С. 160-164.
9. Динь Ч. З., Киричек Р. В. Архитектуры быстроразворачиваемой летаю-щей сети для экстренных случаев // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. No 4. С. 10–22. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-10-22.
10. Poliakov, O. V., & Onykienko, Y. O. (2020). Вибір бездротових технологій для застосування в сільському господарстві. Електронна та Акустична Інженерія, 3(2), 20–24. https://doi.org/10.20535/2617-0965.2020.3.2.199984
11. Рахман П. А. Методика расчета коэффициента оперативной готовности систем управления в моделях надежности на базе цепей Маркова // Экономика и менеджмент систем управления. – 2018. – №. 4. – С. 90-99.
12. Ушаков А.П. Надежность технических систем. – М.: Радио и связь, 1985 – 297 с.
13. Програмні налаштування для експерименту 254-5147. Кафедра електронних обчислювальних машин ХНУРЕ: вебсайт. URL: https://dec.nure.ua/.../science/research-results/tk/2021/04/15/patents/inrt_red_05875584_c154_254-5147.zip (дата звернення 01.06.2021 р.)
14. Кучук Г.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / Г.А. Кучук, А. А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
15. Кучук Г.А. Метод розподілу потоків даних в мультисервісній мережі з безпроводовою компонентою / Г.А. Кучук, Н.Х. Раковська, С.О. Загайнов, О.С. Савченко. // Системи обробки інформації. – 2014. – Вип. 4(120). – С. 164-169.
16. Вырелкин А. Д., Кучерявый А. Е. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения задач «умного города» //Информационные технологии и телекоммуникации. – 2017. – Т. 5. – №. 1. – С. 105-113.

Received (Надійшла) 24.09.2021
Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10/2021

Criteria for selecting a standard for wireless data transfer in high-mobile computer networks

V. Tkachov, K. Halchenko, A. Kovalenko, O. Yeroshenko

Abstract. The article discusses the features of the functioning of high-mobile computer networks in the context of the variability of the data transmission medium, its influence on the speed of data transmission between nodes and the methodology for determining the criteria for choosing various standards for wireless data transmission. The purpose of the article is to develop a criterion base for the selective selection of standards for wireless data transmission in high-mobile networks, depending on the state of the data transmission medium and the distance between nodes. The results obtained allow: to single out the scientific and applied problem of developing a criterion base for selective selection of wireless data transmission standards into a separate class of problems in the field of moving computer networks; to continue further development of the methodology for increasing the survivability of high-mobile computer networks in the context of the variability of the bandwidth of communication channels between nodes; to solve the problem of calculating the non-stationary availability factor with respect to all interfaces for transmitting useful data by nodes of high-mobile computer networks. The studies allow us to conclude that the proposed criteria, based on the results of model experimentation, give the effect of 15% reduction in the time for transferring the volume of data under the conditions of normal functioning of a high-mobile computer network in a heterogeneous space and a dynamic change in the distance between network nodes with a predetermined trajectory of movement. The directions of further work are formulated, in particular, it is proposed to conduct a number of applied experiments to reveal the regularities of the functioning of real high-mobile networks in conditions of a limited energy reserve of the nodes and the impact of the external environment on it.

Keywords: high-mobile computer network, criterion, data transmission standard, IEEE 802.11.