

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ INFORMATION SYSTEMS AND MATHEMATICAL MODELING

УДК 004.773

Stanislav Dovgii, Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, D. S. (Computer science), professor, Director-organizer
ORCID ID: 0000-0003-1078-0162 *e-mail*: s.dovgii@gmail.com

Oleh Kopyika, D. S. (Computer science), professor, Head of department
ORCID ID: 0000-0003-0189-3915 *e-mail*: okopyika@gmail.com

Oleksii Kozlov, Postgraduate
ORCID ID: 0000-0003-1889-3153 *e-mail*: alexey.ua84@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

TRANSMISSION OF INFORMATION IN AUTOMATED SPECIAL PURPOSE SYSTEMS

***Abstract.** This paper is devoted to solving the problem of optimizing the message transport service, which is one of the basic for automated special purpose systems. The NATO model of network-centric transformation of automated control and communication systems, which is presented in the form of a general plan for the development of information systems, was taken as the basis for the construction of special-purpose systems. An analysis of the development of information systems was carried out within the framework of the program of modernization and improvement of automated management systems. Under this program, large-scale work was carried out on the creation of new mobile nodes and means of communication for the perspective automated communication system at the tactical level Warfighter Information Network-Tactical. Therefore, it is proposed to use wireless, decentralized, mobile IP networks such as MANET (Mobile Ad hoc Network) for automated special purpose systems at the tactical level. Each of the mobile devices of such network can move independently in any direction, and, as a result, often break and establish connections with neighbors. For the MANET network the messaging service is considered in the context of: one automated workplace, one domain and interconnection between domains. The efficiency of information transmission systems is considered. Circular transmission algorithms for messages with the highest urgency category are defined and a control algorithm is provided for selecting the optimal message transmission channel in which the time spent on message transmission between these subscribers is minimal (dynamic programming problem with additive effect function). Bellman's functional equation for the conditional optimization stage was adapted for this problem.*

***Keywords:** message transport service; network-centric model.*

С.О. Довгий, О.В. Копійка, О.С. Козлов

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
м. Київ, Україна

ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

***Анотація.** Стаття присвячена розв'язанню задачі оптимізації сервісу транспорту повідомлень, який є одним з базових для автоматизованих систем спеціального призначення. За основу побудови систем спеціального призначення взята модель НАТО мережецентричної трансформації автоматизованих систем управління та зв'язку, яка презентована у вигляді загального плану розвитку інформаційних систем. Проведено аналіз розвитку інформаційних систем в рамках виконання програми модернізації та вдосконалення автоматизованих систем управління. За цією програмою проведено широкомасштабні роботи зі створення нових рухомих вузлів та засобів зв'язку для перспективної автоматизованої системи зв'язку на тактичному рівні Warfighter Information Network-Tactical. Тому, пропонується для автоматизованих систем спеціального призначення на тактичному рівні використовувати бездротові, децентралізовані, мобільні IP-мережі типу MANET (Mobile Ad hoc Network). Кожен з мобільних пристроїв такої мережі може незалежно пересуватися у будь-яких напрямках і, як наслідок, часто розривати і встановлювати з'єднання з сусідами. Для мережі MANET розглянуто сервіс обміну повідомлень в розрізі: одного АРМ, одного домену та інтерконекту між доменами. Розглянута ефективність систем передавання інформації. Визначені алгоритми циркулярної передачі для повідомлень з вищою категорією терміновості та наданий алгоритм управління щодо вибору оптимального маршруту передачі повідомлення, при якому витрати часу на передачу повідомлення між даними абонентами мінімальні (задача динамічного програмування з адитивною функцією ефекту). Функціональне рівняння Беллмана для етапу умовної оптимізації було адаптоване для даної задачі.*

***Ключові слова:** сервіс транспорту повідомлень; мережецентрична модель.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.76-90>

1. ВСТУП

Постановка завдання

В НАТО прийнята модель мережецентричної трансформації автоматизованих систем управління та зв'язку, яка презентована у вигляді загального плану розвитку інформаційних систем. В плані виділено чотири етапи розвитку інформаційних технологій [1]. На кожному з цих етапів для проектування Автоматизованих систем управління використовувались різні технології для побудови процесу прийняття управлінських рішень [2–5]. Поточний етап розвитку технологій ставить за мету повну сумісність усіх міжвідомчих інформаційних систем. Основні характеристики поточного етапу наступні: програмне забезпечення розробляється як сервіси; архітектура інформаційних систем є сервісно-орієнтованою; мережа є програмно-конфігурованою – SDN (*software-defined networking*).

Аналіз останніх досліджень

SDN – це підхід до управління мережею, який забезпечує динамічну, програмно ефективну конфігурацію мережевих елементів з метою покращення продуктивності мережі та моніторингу, що робить її більше схожою на хмарні обчислення, ніж на традиційне керування мережею [6]. SDN призначена для створення статичної архітектури традиційних мереж. SDN намагається централізувати дані про мережу в одному мережевому компоненті, відокремлюючи процес пересилання мережевих пакетів (площина даних) від процесу маршрутизації (площина керування) [7]. Площина управління складається з одного або кількох контролерів, які вважаються мозком мережі SDN, в якій об'єднано весь інтелект. Однак централізація має свої недоліки, коли йдеться про безпеку, масштабованість та гнучкість [6], і це головна проблема SDN [8].

SDN зазвичай асоціювалась з протоколом OpenFlow (для віддаленого зв'язку з елементами мережевої площини з метою визначення шляху мережевих пакетів через мережеві комутатори) з моменту появи останнього в 2011 році. Однак з 2012 року цей термін також використовували власні системи [9, 10]. До них належать відкрите мережеве середовище Cisco Systems і платформа віртуалізації мережі Nicira.

Для автоматизованих систем спеціального призначення на тактичному рівні за принципом SDN будуються мережі типу MANET (Mobile Ad hoc Network). MANET – бездротова, децентралізована, мобільна IP-мережа, що здатна до самоорганізації та забезпечує встановлення з'єднань між довільними вузлами [11]. Кожен з мобільних пристроїв такої мережі може незалежно пересуватися у будь-яких напрямках і, як наслідок, часто розривати і встановлювати з'єднання з сусідами.

Виходячи з плану розвитку інформаційних систем, командування сухопутних військ (СВ) США у рамках виконання програми модернізації та вдосконалення автоматизованих систем управління провело широкомасштабні роботи зі створення нових рухомих вузлів та засобів зв'язку для перспективної автоматизованої системи зв'язку на тактичному рівні WIN-T (Warfighter Information Network-Tactical) [12–15]. Не останню роль при виборі моделі застосування засобів зв'язку на тактичному рівні відіграють і фінансові показники [16].

Принцип роботи перспективної АСУ WIN-T сухопутних військ США (рис. 1).

Основні зусилля американських фахівців були зосереджені на розробці рухомих (високомобільних) вузлів зв'язку (ВЗ), командно-штабних машин (КШМ) та комплектів апаратури зв'язку, таких як:

- рухомий тактичний ВЗ TCN v1 (Tactical Communications Node) для ланки "дивізія – бригада – батальйон";
- рухомий ВЗ роти SNE (Soldier Network Extension node);
- командно-штабна машина PoP v1 (Point of Presence);
- автомобільний комплект апаратури радіозв'язку VWP v1 (Vehicle Wireless Package).

Крім того, велика увага приділяється створенню апаратно-програмних засобів для центрів безпеки зв'язку та управління мережею (ЦБЗУМ) NOSC (Network Operations and Security Center).

Розглядалися тільки ВЗ для забезпечення зв'язку у русі.

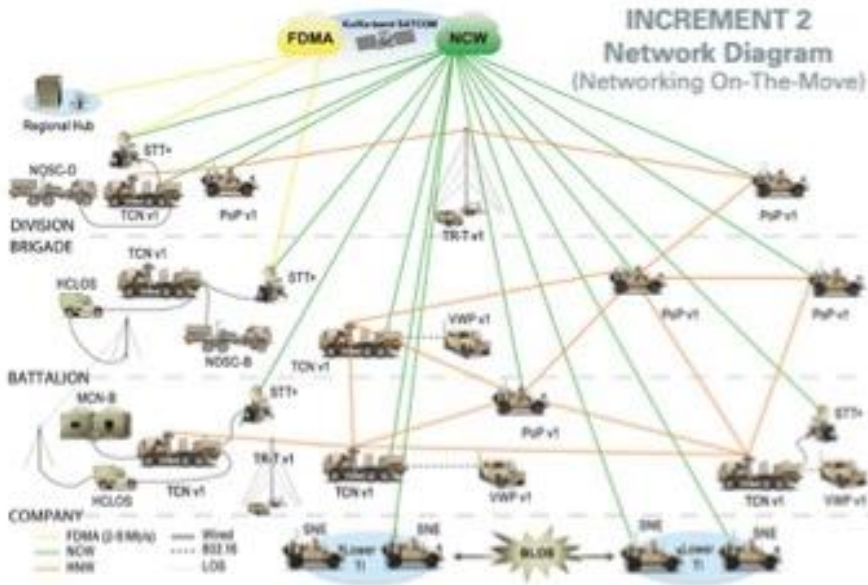


Рис. 1. Автоматизована система зв'язку на тактичному рівні WIN-T

Командно-штабна машина (КШМ) PoP v1 забезпечує радіодоступ до опорної широкосмугової мережі зв'язку WTN-T дивізії (бригади) як у русі, так і на зупинках, а також сполучення з тактичними УКВ-радіомережами бригади.

Цю КШМ передбачається активно задіяти в системі бойового управління та зв'язку ланки "бригада і нижче". Вона повинна забезпечувати необхідну ситуаційну обізнаність на командних пунктах, а також своєчасне доведення графічної інформації, повідомлень та бойових наказів до командирів та штабів різного рівня та вищого командування. Крім того, апаратура зв'язку КШМ може використовуватися як радіоретранслятор, забезпечувати доступ у мережі тактичної ланки в зоні прямої видимості та безшовне з'єднання між будь-якими абонентами на полі бою.

Рухомий ВЗ роти SNE v1 призначений для забезпечення закритого супутникового зв'язку в русі, з коротких зупинок та розширення зони дії радіомереж бойового керування. Фактично він виконує функцію базової станції зв'язку у тактичній ланці.

У кожній бригааді та дивізії планується мати на озброєнні один центр безпеки зв'язку та мережевих операцій відповідного рівня.

ЦБЗУМ бригади та дивізії забезпечують:

- планування, організацію, управління та контроль функціонування мереж, а також аналіз та зміну їх конфігурації та пропускну здатності;
- визначення зон дії (електромагнітної доступності) засобів радіо- та радіорелейного зв'язку, що входять до складу ВЗ;
- управління та контроль інформаційної безпеки в локально обчислювальних мережах (ЛОМ);
- розподіл спектра радіочастот для всіх типів радіопередаючих пристроїв та управління передавачами бездротових локальних мереж;
- роботу із системами шифрування з відкритими та закритими ключами, а також розподіл шифру ключів.

За таким принципом будується перспективна автоматизована система зв'язку на тактичному рівні WIN-T.

Таким чином, на думку американських фахівців, розгортання в сухопутних військах США системи зв'язку нового покоління у ланці "рота – батальйон – бригада" призведе до значного підвищення бойових можливостей і маневреності військ, а також збільшення пропускної спроможності зв'язку в тактичній ланці.

Мета досліджень

Основним недоліком використання ширококугової системи радіозв'язку є її нестійкість при роботі засобів радіоелектронної боротьби.

Самим завадостійким засобом радіозв'язку залишається УКХ-радіозв'язок в режимі псевдовипадкового перелаштування робочої частоти ППРЧ.

У цьому випадку для інформаційного обміну в автоматизованих системах управління (АСУ) збройних сил використовуються повідомлення: накази, доповіді (підтвердження про одержання наказів, донесення про виконання наказів), інформація про стан виконавчих органів і сил, про наявність запасів ресурсів спеціального (зброя, військова техніка, засоби радіозв'язку) і загального (паливно-мастильні матеріали, матеріали, майно) призначення, службова інформація про стан вузлів і ліній радіозв'язку тощо [17–24]. Т.я. УКХ-радіозв'язок в режимі ППРЧ має низьку пропускну здатність, то треба використовувати додаткові заходи для успішної передачі повідомлень.

Тому, метою даної статті є розв'язання задачі оптимізації сервісу транспорту повідомлень, який є одним з базових для автоматизованих систем спеціального призначення.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Один з основних сервісів для автоматизованих систем управління для бойових дій на тактичному рівні, який вимагає найбільшої завадостійкості при заданій ефективності, є сервіс транспорту повідомлень.

Розглянемо структурні діаграми обміну повідомлень для різних варіантів побудови радіомережі типу MANET.

2.1 Структурна діаграма обміну повідомленнями в розрізі одного АРМ

Виникає проблема при розробці програмного забезпечення відносно посилення на сервіс транспорту повідомлень. Виникає складна задача використання різних технологій при застосуванні різних радіомереж.

Тому, для поділу задач прикладного програмування і задачі транспорту повідомлень була обрана архітектура, яка використовує загальну шину для обміну між різними рівнями. Тобто при необхідності у такій архітектурі можемо програмувати і міняти модулі на окремому рівні без переписування програмного забезпечення іншого рівня.

Наприклад, можливо замінити транспорт для повідомлень між автоматизованими робочими місцями (АРМ) з brokercentric MQTT на brokerless ZeroMQ, не міняючи прикладні програми. І навпаки, можна, наприклад, поміняти Java-backend на Go-backend, не перероблюючи забезпечення на рівні мережі. Іншим прикладом може бути перехід від використання протоколів TCP/IP чи UDP без переписування програмного забезпечення.

MQTT в якості загальної внутрішньої шини обрано за такими факторами:

- широко розповсюджений протокол з коннекторами практично до будь-якої бібліотеки чи софту;
- використовує архітектуру public-subscribe, не прив'язаний до формату повідомлень (data-agnostic);
- використання протоколу та і сам протокол достатньо легкий по відношенню до ресурсів;
- і саме головне – при необхідності є можливість переключати клієнтські коннекти з внутрішньо-комп'ютерних на зовнішньо-мережеві без структурних змін.

На рисунку 2 наведена схема такого обміну через загальну шину.

Наступною задачею є структурні діаграми обміну повідомлень у розрізі одного та декількох доменів.

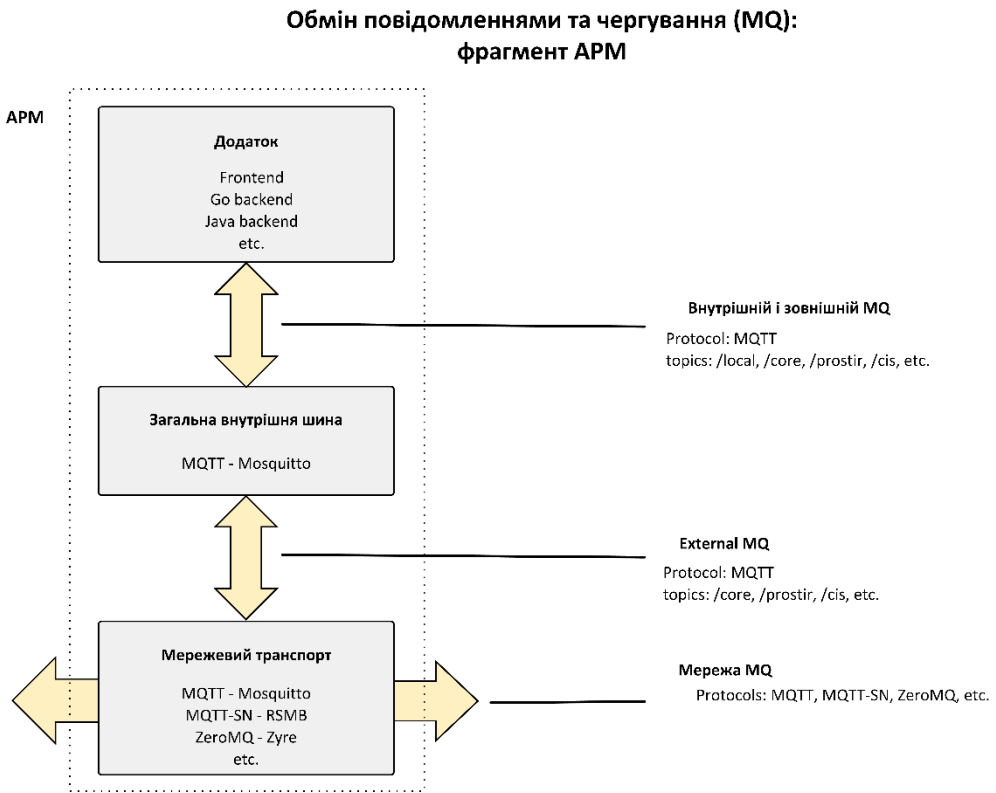


Рис. 2. Схема обміну через загальну шину

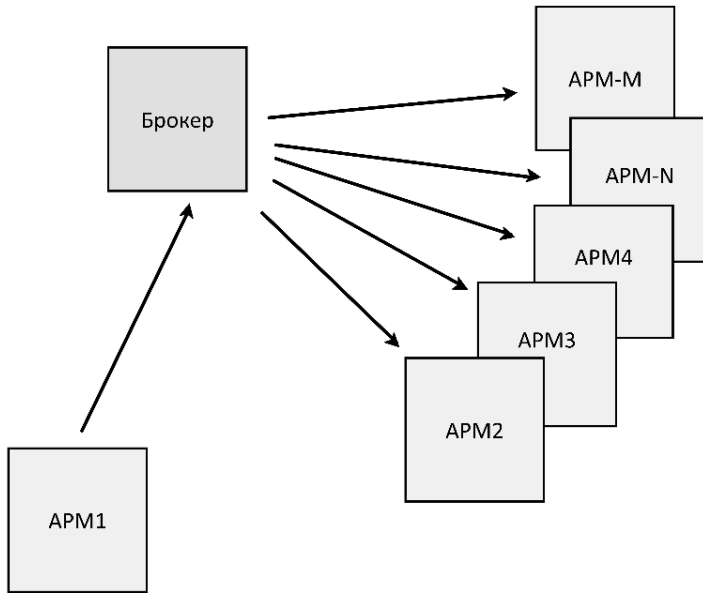
2.2 Структурна діаграма обміну повідомленнями в розрізі одного домену

Розглянемо декілька типів обміну повідомленнями в рамках одного домену. Розподіл за типами організації обміну: система з центральним брокером і системи без виділеного брокеру. І другий розподіл – обмін повідомленнями Peer-to-Peer (P2P, зазвичай TCP unicast) або ж One-to-Many (зазвичай це UDP multicast). На рисунку 3 наведені діаграми відповідно до таких типів обміну:

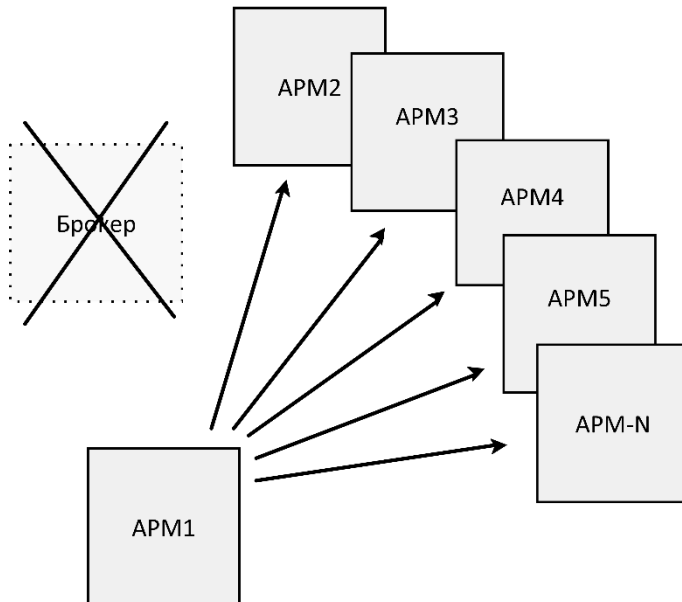
- A: Broker-centric + Peer-to-Peer;
- B: Broker-less + Peer-To-Peer;
- C: Broker-less + One-to-Many.

Обмін повідомленнями та чергування (MQ): сегмент домену

Варіант А – модель, орієнтована на брокер



Варіант В – без брокерів і P2P (одноранговий)



Варіант С – без брокера та багатоадресна передача (один до багатьох)

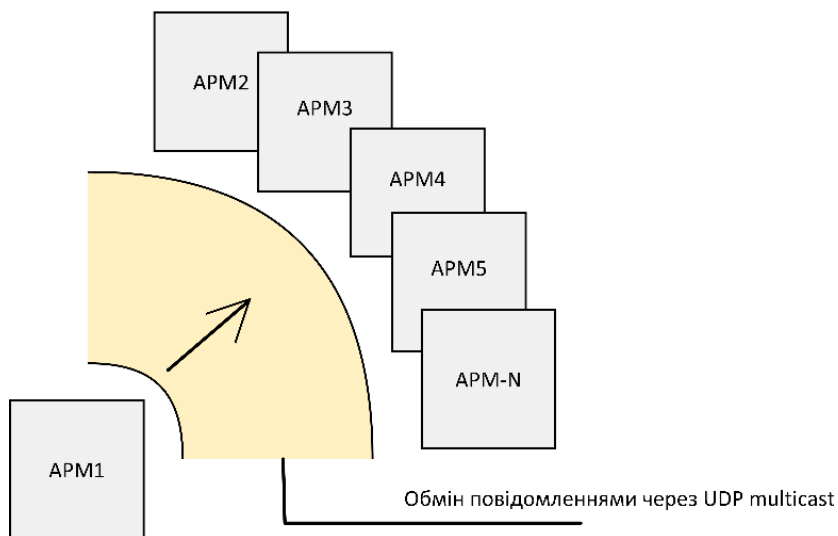


Рис. 3. Діаграми відповідно до таких типів обміну: А: Broker-centric + Peer-to-Peer; В: Broker-less + Peer-To-Peer; С: Broker-less + One-to-Many

Слід відмітити, що немає одного єдиного типу обміну, найкращого в усіх випадках, – при деяких шаблонах роботи краще використовувати, наприклад, p2p обмін, в інших – multicast розсилку. Тому, можливо, що в деяких застосуваннях оптимальним є використання двох типів в рамках однієї моделі.

Реалізація, яка використовується найчастіше, – модель з центральним брокером і розсилкою повідомлень один-всім в усіх випадках. Така модель застосовується для реалізації функції «Загальна оперативна картина» (COP – A common operational picture). COP – це єдине ідентичне відображення відповідної (оперативної) інформації (наприклад, позиції власних військ та ворожих військ, позиції та статусу важливої інфраструктури, таких як мости, дороги тощо), що ділиться більш ніж однією командою. COP сприяє спільному плануванню та комбінованому виконанню та допомагає всім ешелонам для досягнення ситуаційної обізнаності [25–32].

2.3 Структурна діаграма обміну повідомленнями в розрізі інтерконнекту між доменами

В складних системах сервіс транспорту повідомлень проектується з використанням декількох доменів, які діляться за функціональним принципом (розвідка, артилерія, сухопутні підрозділи і т.п.).

Виходячи з сутності інтерконнекту, це зазвичай P2P з'єднання (Peer-to-Peer). Відповідно – найбільш природно на такому з'єднанні виглядає P2P мост між брокерами.

Наприклад, на рисунку 4 наведено діаграму такого з'єднання між двома доменами різного типу (між Peer-to-Peer та One-to-Many доменами).

2.4 Алгоритм оптимального маршруту передачі повідомлення

Для передачі «повідомлень» (наказів) з вищою категорією терміновості в інформаційних системах спеціального призначення використовується

алгоритм циркулярної передачі («хвиля»), при цьому повідомлення видається від абонента в усі лінії радіозв'язку одночасно і розповсюджується по телекомунікаційній мережі (ТМ) по усіх можливих маршрутах – функція «Загальна оперативна картина» (COP – A common operational picture).

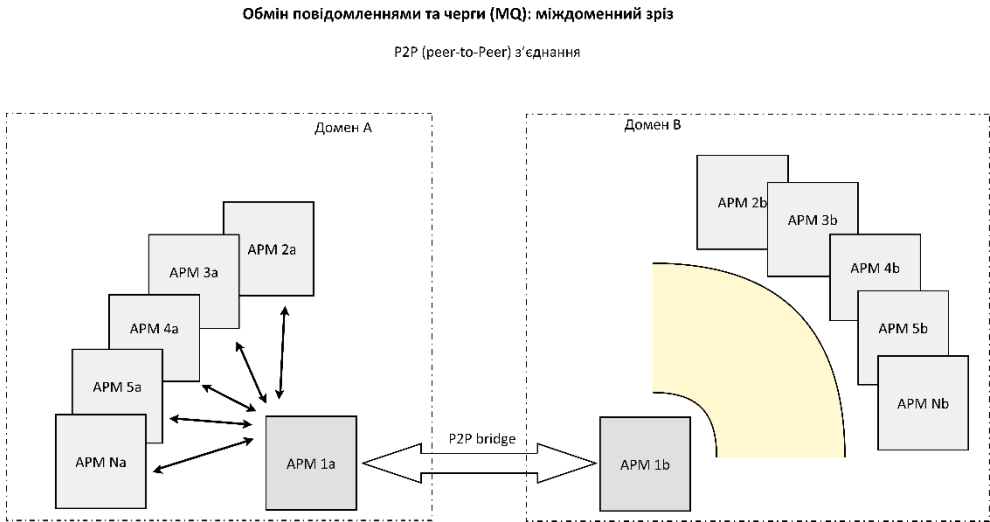


Рис. 4. Діаграма з'єднання між двома доменами різного типу (між Peer-to-Peer та One-to-Many доменами)

Перевагами «хвильового» алгоритму передачі є наступні:

- доведення повідомлення до абонента-одержувача за мінімальний час (оскільки один із повної множини маршрутів завжди є оптимальним);
- висока надійність доведення повідомлення, що визначається імовірністю здатного стану хоча б одного з повної множини маршрутів;
- відсутність необхідності збору службової інформації про стан ліній радіозв'язку і вирішення задачі управління рухом повідомлення по ТМ.

Але циркулярна передача повідомлення приводить до максимального завантаження ТМ єдиним повідомленням.

Тому, розглянемо алгоритм управління щодо вибору оптимального маршруту передачі повідомлення в конкретний момент часу [33–36].

Нехай для ТМ відома матриця середнього часу τ передачі 1 повідомлення (пакета) по кожній лінії радіозв'язку, тобто між n суміжними вузлами (d_i, d_j)

$$T = \|\tau_{ij}\|_{n \times n} \quad (1)$$

Для передачі повідомлення між абонентами (a_r, a_s) даної ТМ на множині можливих «управлінь» $\{U\}$ (щодо складання маршруту радіозв'язку), кожне з котрих є вектор – ланцюг $k = n - 1$ дуг-ліній радіозв'язку між (a_r, a_s) матриці суміжності вершин-вузлів ТМ

$$U = \|\mathbf{u}_{ij}\|_{n \times n} \quad (2)$$

де u_{ij} – вибрана лінія радіозв’язку на k -й ділянці маршруту, «придатна» для наявної структури ТМ, потрібно знайти таке (оптимальне) управління (скласти маршрут)

$$U^o = \left\| u_{ij}^o \right\|, \quad U^o \subset \{U\}, \quad (3)$$

при якому витрати часу на передачу повідомлення між даними абонентами мінімальні

$$T(a_r, a_s, U^o) = \min_{(U)} T(U) = \sum_{u_{ij}^o \subset U^o} \tau_{ij}(u_{ij}^o). \quad (4)$$

Це – задача динамічного програмування з адитивною функцією ефекту.

Функціональне рівняння Беллмана для етапу умовної оптимізації, адаптоване для даної задачі, має вигляд –

$$T_k(d_i^{(k)}, u_{ij}^o) = \min_{\{u_{ij}\}} \{ \tau_{ij}(d_i^{(k)}, u_{ij}) + T_{k+1}(d_i^{(k+1)}, u_{ij}) \}, \quad k = \overline{s, r}, \quad (5)$$

де $d_i^{(k)}, d_i^{(k+1)}$ – суміжні вузли радіозв’язку для k -ї ділянки маршруту;

T_k, T_{k+1} – «потенціали» (рівень ефекту) суміжних вузлів радіозв’язку для k -ї ділянки маршруту;

u_{ij}^o – умовне оптимальне управління для k -ї ділянки маршруту.

Якщо для ТМ відома матриця імовірності незанятості ліній радіозв’язку між суміжними вузлами –

$$P = \left\| p_{ij} \right\|_{n \times n}, \quad (6)$$

то складання маршруту з максимальною імовірністю його незанятості потребує пошуку такого (оптимального по даному критерію) управління U^o , при котрому

$$P(a_r, a_s, U^o) = \max_{\{U\}} P(U) = \prod_{u_{ij}^o \subset U^o} p_{ij}(u_{ij}^o). \quad (7)$$

Це – задача динамічного програмування з мультиплікативною функцією ефекту. Функціональне рівняння Беллмана для етапу умовної оптимізації, адаптоване для даної задачі, має вигляд –

$$P_k(d_i^{(k)}, u_{ij}^o) = \max_{\{u_{ij}\}} \{ p_{ij}(d_i^{(k)}, u_{ij}) \times P_{k+1}(d_i^{(k+1)}, u_{ij}) \}, \quad k = \overline{s, r}, \quad (8)$$

де $d_i^{(k)}, d_i^{(k+1)}$ – суміжні вузли радіозв’язку для k -ї ділянки маршруту;

P_k, P_{k+1} – «потенціали» (рівень ефекту) суміжних вузлів радіозв’язку для k -ї ділянки маршруту;

u_{ij}^o – умовне оптимальне управління (напрямок) для k -ї ділянки маршруту.

Алгоритми динамічного управління потоками інформації є найбільш ефективними при врахуванні як імовірності занятості ліній радіозв’язку, так і їх фактичного стану для складання найкоротшого за терміновістю чи достатнього за пропускну здатністю маршруту між абонентами.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За основу побудови систем спеціального призначення взята модель НАТО мережецентричної трансформації автоматизованих систем управління та зв'язку.

Проведено аналіз розвитку інформаційних систем в рамках виконання програми модернізації та вдосконалення автоматизованих систем управління. За цією програмою проведено широкомасштабні роботи зі створення нових рухомих вузлів та засобів зв'язку для перспективної автоматизованої системи зв'язку на тактичному рівні Warfighter Information Network-Tactical.

Пропонується для автоматизованих систем спеціального призначення на тактичному рівні використовувати бездротові, децентралізовані, мобільні IP-мережі типу MANET (Mobile Ad hoc Network).

1. Основним елементом інформаційного обміну в автоматизованих системах управління збройних сил на тактичному рівні визначено передачу повідомлень.

2. Розглянуто сервіс обміну повідомлень в розрізі: одного АРМ, одного домену та інтерконекту між доменами.

3. Визначені алгоритми циркулярної передачі для повідомлень (наказів) з вищою категорією терміновості.

4. Наданий алгоритм управління щодо вибору оптимального маршруту передачі повідомлення, при якому витрати часу на передачу повідомлення між абонентами мінімальні (задача динамічного програмування з адитивною функцією ефекту).

5. Функціональне рівняння Беллмана для етапу умовної оптимізації адаптоване для даної задачі.

6. Роботи буде продовжено для різних чисельних прикладів вибору оптимальних маршрутів радіомережі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Паршин, С., & Кожанов, Ю. (2010). Концепции сетецентрического боевого управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общее и различия. URL: http://factmil.com/publ/strana/velikobritanija/koncepcii_setecentricheskogo_boevogo_upravlenija_vs_ssha_velikobritanii_i_ovs_nato_obshhee_i_razlichija_2010/9-1-0-420.
2. Довгий, С.О., & Копійка, О.В. (2001). Автоматизована система для підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. К.: Наук. думка, 211-266.
3. Довгий, С.А. (2001). Новые технологии в телекоммуникации: выбор технологической архитектуры. Современные тенденции развития. К.: Укртелеком.
4. Копейка, О.В. (2013). Сетевые службы и службы сетевых устройств в дата-центрах. Системи управління, навігації та зв'язку: наукове періодичне видання, №4(28), 98-104.
5. Довгий, С. (2000). Стан та проблеми розвитку телекомунікаційної мережі України. Наука та наукознавство.
6. Benzekki, Kamal, & El Fergougui, Abdeslam, & Elbelrhiti Elalaoui, Abdelbaki (2016). Software-defined networking (SDN): A survey. Security and Communication Networks, 9 (18): 5803–5833. doi:10.1002/sec.1737.
7. Montazerolghaem, Ahmadreza (2020). Software-defined load-balanced data center: design, implementation and performance analysis. Cluster Computing, 24 (2), 591–610, doi:10.1007/s10586-020-03134-x. ISSN 1386-7857. S2CID 220490312.

8. Montazerolghaem, Ahmadrza (2021). Software-defined Internet of Multimedia Things: Energy-efficient and Load-balanced Resource Management. *IEEE Internet of Things Journal*, 9 (3): 2432–2442. doi:10.1109/JIOT.2021.3095237. ISSN 2327-4662. S2CID 237801052.
9. Software-defined networking is not OpenFlow, companies proclaim. (2022). URL: searchsdn.techtarget.com.
10. InCNTRE's OpenFlow SDN testing lab works toward certified SDN product. (2022). URL: <https://www.techtarget.com/news/>.
11. Слюсар, В.И. (2008). Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий. *Электроника: Наука, Технология, Бизнес. № 4*, 66–71.
12. URL: <https://gdmissionsystems.com/communications/warfighter-information-network-tactical>.
13. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/PM_WIN-T.
14. Warfighter Information Network-Tactical (WIN-T). (2012). URL: <https://peoc3t.army.mil/wint/index.php>.
15. Army tactical communication network organization reflects on its rich history. The United States Army. (2012). Army.mil. Retrieved 2012-10-14. URL: <https://www.army.mil/article/78284/>.
16. Barabash, O., Open'ko, P., Kopiika, O., Shevchenko, H., & Dakhno, N. (2019). Target Programming with Multicriterial Restrictions Application to the Defense Budget Optimization. *Advances in Military Technology*, 14, no. 2, 213-229. DOI: 10.3849/aimt.01291.
17. Choi, M.-J., Ju, H.-T., Hong, J. W.-K., & Yun, D.-S. (2008). Design and Implementation of Web Services-based NGOSS Technology Specific Architecture, *Annals of Telecommunications. Special Issue on "Next Generation Network and Service Management"*, Vol. 63, No. 3-4, April 2008, pp. 195-206.
18. Kopeika, O., Tarasenko, I., Kisselevskiy, A., Karichenskiy, A. & Valiulin, T. (2007). Softline applies TMF standards as a guide when building Resource Inventory solution for nation-wide carrier Ukraine Telecom. *TM Forum Case Study Handbook, Volume 3*.
19. Волошин, О. Ф. & Машченко, С. О. (2010). Моделі та методи прийняття рішень. Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., 2-ге вид., перероб. та допов., К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет".
20. Довгий, С.О. (2001). Приватизація, інвестиції та фондовий ринок: правові засади та практика. У 4 т., Відкрите акціонерне товариство «Укртелеком», К.: Укртелеком.
21. Rubinstein, A. (2013). *Lecture Notes in Microeconomic Theory*. 2nd., Princeton University Press, ISBN 978-0-691-15413-8.
22. Копейка, О. В. (2014). Архитектура системы управления ИТ-инфраструктурой в современных Дата-центрах. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*, № 29, 29-37.
23. Choi, M.-J., & Hong, J.W.-K. (2007). Towards Management of Next Generation Networks. *IEICE Transaction Communications E Series B*, Vol. 90., No. 11, 3004-3014.
24. Балашов, В.А., Копийка, О.В., Ляховецкий, Л.М. (2005) VDSL – ближайшее будущее цифрового абонентского доступа. *Зв'язок*, № 4, 10-16.
25. P 1-02, DOD Dictionary of Military and Associated Terms (2001). As amended through 17 October 2008."Archived copy" (PDF).
26. URL: https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/CommonOpER_HLT_0908-508.pdf.
27. URL: <https://constanttech.com/what-a-common-operating-picture-means-for-mission-critical/>.
28. Kristine Steen-Tveit & Bjorn Erik Munkvold (2021). From common operational picture to common situational understanding. An analysis based on practitioner perspectives. *Safety Science*. Volume 142, October 2021, 105381. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105381>.

29. Kumsap, C., Mungkung, V., Amatacheewa, I. & Thanasomboon, A. (2018). Conceptualization of Military's Common Operation Picture for the Enhancement of Disaster Preparedness and Response during Emergency and Communication Blackout. *Procedia Engineering* 212, 1241–1248.
30. Lelardeux, C.P., Panzoli, D., Lubrano, V., Minville, V., Lagarrigue, P. & Jessel, J.-P. (2017). Communication system and team situation awareness in a multiplayer real-time learning environment: application to a virtual operating room. *The Visual Computer* 33 (4), 489–515.
31. Munkvold, B. E., Radianti, J., Rød, J. K., Opach, T., Snaprud, M., Pilemalm, S., & Bunker, D. (2019). Sharing Incident and Threat Information for Common Situational Understanding. *Proceedings of the 16th ISCRAM Conference Spain*.
32. Steen-Tveit, K. (2020). Identifying Information Requirements for Improving the Common Operational Picture in Multi-Agency Operations. *Proceedings of the 17th ISCRAM Conference, Virginia*.
33. Стеклов, В.К. (2006). Теорія електричного зв'язку. Підручник для ВНЗ, К.: Техніка.
34. Стеклов, В.К., Беркман, Л.Н. & Кільчицький, Є.В. (2004). Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. Підруч. Для вищ. навч. закл., К.: Техніка.
35. Беркман, Л.Н. (2014). Теоретичні основи методології синтезу інформаційно-комунікаційних систем. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, №4, С. 12–20.
36. Стеклов, В.К. & Беркман, Л.Н. (2002). Проектування телекомунікаційних мереж. Підручник для ВНЗ, К. : Техніка, ISBN 966-575-070-4.

Стаття надійшла до редакції 23.11.2022 і прийнята до друку після рецензування 14.02.2023

REFERENCES

1. Parshin, S. & Kozhanov, Yu. (2010). Concepts of network-centric combat control of the US Armed Forces, Great Britain and NATO Allied Forces. Common and Differences. Retrieved from: http://factmil.com/publ/strana/velikobritanija/koncepcii_setecentricheskogo_boevogo_upravlenija_vs_ssha_velikobritanii_i_ovs_nato_obshee_i_razlichija_2010/9-1-0-420 [in Russian].
2. Dovgiy, S. O., & Kопііка, O. V. (1996). Automated system for the process of taking decisions during the liquidation of the inheritance of an accident at the CNPP. K.: VPC TYRAG [in Ukrainian].
3. Dovgiy, S. O. (2001). New technologies in telecommunications: the choice of technological architecture, Modern development trends. Kyiv: Ukrtelecom [in Russian].
4. Kопііка, O. V. (2013). Network services and network device services in Data Centers. *Control, navigation and communication systems*, 4 (28), 98-104 [in Russian].
5. Dovgiy, S. (2000). The state and problems of the development of the telecommunications network of Ukraine. *Science and scientific studies* [in Ukrainian].
6. Benzekki, Kamal, & El Fergougui, Abdeslam, & Elbelrhiti Elalaoui, Abdelbaki (2016). Software-defined networking (SDN): A survey. *Security and Communication Networks*, 9 (18): 5803–5833. <https://doi.org/10.1002/sec.1737>.
7. Montazerolghaem, Ahmadreza (2020). Software-defined load-balanced data center: design, implementation and performance analysis. *Cluster Computing*, 24 (2), 591–610. <https://doi.org/10.1007/s10586-020-03134-x>.
8. Montazerolghaem, Ahmadreza (2021). Software-defined Internet of Multimedia Things: Energy-efficient and Load-balanced Resource Management. *IEEE Internet of Things Journal*, 9 (3): 2432–2442. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3095237>. ISSN 2327-4662. S2CID 237801052.
9. Software-defined networking is not OpenFlow, companies proclaim. (2022). Retrieved from: searchsdn.techtarget.com.

10. InCNTRE's OpenFlow SDN testing lab works toward certified SDN product. (2022). Retrieved from: <https://www.techtarget.com/news/>.
11. Slyusar, V. I. (2008). Military communication of NATO countries: problems of modern technologies. *Electronics: Science, Technology, Business*, № 4, 66–71 [in Russian].
12. Retrieved from: <https://gdmissionsystems.com/communications/warfighter-information-network-tactical>.
13. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/PM_WIN-T.
14. Warfighter Information Network-Tactical (WIN-T). (2012). Retrieved from: <https://peoc3t.army.mil/wint/index.php>.
15. Army tactical communication network organization reflects on its rich history. The United States Army. (2012). Army.mil. Retrieved 2012-10-14 from: <https://www.army.mil/article/78284/>.
16. Barabash, O., Open'ko, P., Kopiika, O., Shevchenko, H., & Dakhno, N. (2019). Target Programming with Multicriterial Restrictions Application to the Defense Budget Optimization. *Advances in Military Technology*, 14, no. 2, 213–229. <https://doi.org/10.3849/aimt.01291>.
17. Choi, M.-J., Ju, H.-T., Hong, J. W.-K., & Yun, D.-S. (2008). Design and Implementation of Web Services-based NGOSS Technology Specific Architecture. *Annals of Telecommunications*. Special Issue on “Next Generation Network and Service Management”, 63 (3-4), 195–206.
18. Kopeika, O., Tarasenko, I., Kisselevskiy, A., Karichenskiy, A. & Valiulin, T. (2007). Softline applies TMF standards as a guide when building Resource Inventory solution for nation-wide carrier Ukraine Telecom. TM Forum Case Study Handbook, Volume 3.
19. Voloshyn, O. F., & Mashchenko, S. O. (2010). Decision-making models and methods. education manual for students higher education acc., 2nd ed., revision. and added. K.: Kyiv University Publishing and Printing Center [in Ukrainian].
20. Dovgyi, S. O. (2001). Privatization, Investment and the Stock Market: Legal Principles and Practice. In the 4th grade: Ukrtelecom [in Ukrainian].
21. Rubinstein, A. (2013). Lecture Notes in Microeconomic Theory. 2nd., Princeton University Press, ISBN 978-0-691-15413-8.
22. Kopiika, O. V. (2014). The architecture of the IT infrastructure management system in modern data centers. *Scientific Notes of the Ukrainian Scientific Research Institute of Communications*, 29, 29–37 [in Ukrainian].
23. Choi, M.-J., & Hong, J.W.-K. (2007). Towards Management of Next Generation Networks. *IEICE Transaction Communications E Series B*, 90 (11), 3004-3014.
24. Balashov, V. A., Kopiika, O. V., & Lyakhovetsky, L. M. (2005). VDSL – near future of digital subscriber access. *Communication*, 4, 10–16 [in Russian].
25. P 1-02, DOD Dictionary of Military and Associated Terms (2001). As amended through 17 October 2008."Archived copy" (PDF).
26. Retrieved from: https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/CommonOpER_HLT_0908-508.pdf
27. Retrieved from: <https://constanttech.com/what-a-common-operating-picture-means-for-mission-critical/>.
28. Kristine Steen-Tveit & Bjorn Erik Munkvold (2021). From common operational picture to common situational understanding. An analysis based on practitioner perspectives. *Safety Science*. Volume 142, October 2021, 105381. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105381>.
29. Kumsap, C., Mungkung, V., Amatacheewa, I., & Thanasomboon, A. (2018). Conceptualization of Military's Common Operation Picture for the Enhancement of Disaster Preparedness and Response during Emergency and Communication Blackout. *Procedia Engineering*, 212, 1241–1248.
30. Lelardeux, C. P., Panzoli, D., Lubrano, V., Minville, V., Lagarrigue, P. & Jessel, J.-P. (2017). Communication system and team situation awareness in a multiplayer real-time learning environment: application to a virtual operating room. *The Visual Computer*, 33 (4), 489–515.

31. Munkvold, B. E., Radianti, J., Rød, J. K., Opach, T., Snaprud, M., Pilemalm, S., & Bunker, D. (2019). In *Sharing Incident and Threat Information for Common Situational Understanding. Proceedings of the 16th ISCRAM Conference*, Spain.
32. Steen-Tveit, K. (2020). Identifying Information Requirements for Improving the Common Operational Picture in Multi-Agency Operations. In *Proceedings of the 17th ISCRAM Conference*, Virginia.
33. Steklov, V. K., & Berkman, L. N. (2006). Theory of electrical communication: Textbook for universities. K.: Technology [in Ukrainian].
34. Steklov, V. K., Berkman, L. N., & Kilchytskyi, E. V. (2004). Optimization and modeling of communication devices and systems. Understudy For higher education closing K.: Technology [in Ukrainian].
35. Berkman, L. N. (2014). Theoretical bases of methodology of synthesis of information and communication systems. *Telecommunication and information technologies*, 4, 12–20 [in Ukrainian].
36. Steklov, V. K., & Berkman, L. N. (2002). Designing telecommunication networks: a textbook for universities. K.: Technology. ISBN 966-575-070-4 [in Ukrainian].

The article was received 23.11.2022 and was accepted after revision 14.02.2023

Довгий Станіслав Олексійович

академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, Почесний директор, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186, Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0003-1078-0162 **e-mail:** s.dovgii@gmail.com

Копійка Олег Валентинович

доктор технічних наук, професор, завідувач відділу, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186, Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0003-0189-3915 **e-mail:** okopiyka@gmail.com

Козлов Олексій Сергійович

аспірант, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186, Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0003-1889-3153 **e-mail:** alexey.ua84@gmail.com