



УДК 681.5(042.3)

METHOD OF SYNTHESIS AND SELECTION OF PARAMETERS OF GUARANTEE OF SERVICE-ORIENTED SENSOR NETWORKS OF VARIABLE TOPOLOGY

МЕТОД СИНТЕЗУ І ВИБРУ ПАРАМЕТРІВ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ СЕРВІС- ОРІЄНТОВАНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ

Semko V.V. / Семко В.В.

д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-5157-4264

*Institute of Applied Management Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine**Інститут прикладних систем управління НАН України,**Київ, пр.. Глушкова, 40, 03187*

Semko O.V. / Семко О.В.

к.т.н., с.н.с.

ORCID: 0000-0001-6473-1329

*Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy
of Sciences of Ukraine**Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,**Київ, Чоколівський бульвар, 13, 03186*

Анотація. При дослідженні методів управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології за умов невизначестей і обмежень запропоновано застосовувати методологію: системно-структурного аналізу процесів взаємодії конфліктуючих вузлів мережі, як дослідження явища в цілому, яке складається з системи підструктур, які, у свою чергу, складаються з елементів, і в якості підсистем входять в систему більш високого рівня; системно-функціонального аналізу процесів забезпечення гарантоздатності при функціонуванні сенсорних мереж, як дослідження з метою визначення усіх основних взаємозв'язків вузлів мережі з процесами управління маршрутизацією потоків даних, як внутрішнім середовищем гетерогенної мережі, і з зовнішнім середовищем, яке включає систему передачі даних мереж intranet/internet; у виявленні характеру і способів впливу одних елементів і підструктур сенсорних мереж на інші.

Ключові слова: маршрутизація, сенсорні мережі, гарантоздатність, мережа передачі даних, взаємодія вузлів мережі, потік даною.

Вступ

Доцільність використання методів оптимального управління гарантоздатними сенсорними мережами визначається при вирішенні проблем, які виникають при створенні систем управління топологією та маршрутизацією за умов конфліктів, обмежень та невизначеностей [1], а саме:

➤ управління якістю обслуговування за рівнем еталонної моделі та забезпечення безпеки передачі даних (ПД) з використанням методів управління ресурсами пакетних мереж (QoS) управління для статичної або динамічної



мережі, що забезпечується системою управління на кожному вузлі мережі з використанням бази методів управління і системи прийняття рішень на основі *QoS*-рішень, а також способів їх впровадження відповідно бази моделей управління ресурсами сенсорної мережі (СМ);

➤ побудови і підтримки системи маршрутизації передачі пакетів даних та управління потоками даних (ПД) при забезпеченні вимог гарантоздатності, що забезпечується шляхом синтезу і забезпечення можливості використання визначених маршрутів ПД при заданих показниках гарантоздатності за умов децентралізованості;

➤ розподілом часового, просторового, частотного, кодового та енергетичного ресурсів для забезпечення інформаційного обміну між вузлами обчислювальної системи та сенсорної мережі;

➤ оптимального управління ресурсами елементів обчислювальної системи або сенсорної мережі в результаті рішення конфлікту, як задачі дискретної динамічної оптимізації з використанням методів дослідження операцій або інтелектуального управління.

В контексті розробки телекомунікаційних та багатофункціональних мережевих технологічних рішень відбувається зміна тенденцій у напрямку поширення та практичного використання гетерогенних мереж з різномірною топологічною структурою. При цьому топологія мереж передачі даних (ПРД) використовує імплементовані апаратно-програмні складові, які забезпечують передачу та обробку інформації для різних географічно віддалених об'єктів.

В якості технологічно сучасної мережевої топології можна дослідити процеси забезпечення функціонування розподілених, динамічних сервіс-орієнтованих (СМ) варіативної топологічної структури.

Основний текст

Використання гетерогенних мережевих рішень призводить до ускладнення структур конфігурації фізичних зв'язків і регламенту ПРД між їх елементами з врахуванням технологічної складності їх архітектури.

Зазначені чинники безпосередньо впливають на управління процесом



маршрутизації ПРД і функціональні параметри, що визначають показники гарантоздатності функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС).

Забезпечення гарантоздатності, основними складовими якої є відмовостійкість, безвідмовність та безпека, визначаються вимогами до технології побудови ІТС та невизначеності станів внутрішніх об'єктів при маршрутизації ПД.

Протоколи ПД є рішеннями, які забезпечують доставку даних на основі:

- процедури взаємного обміну службовою інформацією;
- централізованої моделі збирання даних з доставкою по запиту;
- технології кластерного розбиття елементів мережі, які використовують інформацію про просторове розташування вузлів-елементів СМ;
- дволанкового механізму ПРД на підставі відомостей про розташування вузлів мережі;
- вирішення окремих питань ефективного використання енергоресурсу вузлами-елементами мережі.

Слід зазначити, що існуючі методи інтелектуального управління маршрутизацією ПД, в тому числі реактивні, проактивні та гібридні протоколи не забезпечують вирішення проблеми управління маршрутизацією ПД від вузла-відправника до вузла-отримувача в СМ за умов масштабованості і розширеності [2], [3].

Існуючі рішення також не забезпечують вирішення проблем:

- 1) варіативності топологічної структури СМ;
- 2) не враховують особливості функціонування тактичних безпроводних СМ;
- 3) не враховують обмежену кількість базових станцій інформації, яка циркулює в сенсорних мережах;
- 4) типу навантаження та його періодичності;
- 5) оптимального використання обчислювальних потужностей, не враховуючи фактори обмеження енергоємності джерел енергії вузлів та необхідність максимізації тривалості функціонування СМ;



б) можливість забезпечення гарантованого управління маршрутизацією в межах гранично припустимих значень параметрів управління, яке функціонально вирішує проблему невизначеностей стану і обмежень параметрів.

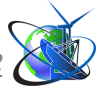
Для вирішення вищезазначених проблем пропонується метод визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих СМ, як складової фундаментального інтегруючого підходу гарантоздатності.

Синтез і вибір рішень щодо стратегій управління маршрутизацією і вибору маршруту ПД в гетерогенній мережі здійснюється у відповідності до значення функції ціни для кожного елемента мережі, що є гегелівським об'єктом, відповідно метрики мережевого інтерфейсу.

Незалежно від обраної метрики мережевого інтерфейсу метою управління маршрутизацією в СМ є визначення оптимального шляху на графі, який відображає топологічну структуру мережі. Таким чином, управління маршрутизацією в мережі за умов мінімального використання мережевих ресурсів є ключовою при моделюванні архітектури і топологічної структури. Процеси в СМ забезпечуються в припущенні гарантованого знаходження маршруту від вузла - джерела до вузла-отримувача ПД при резервуванні частки пропускної спроможності каналів.

В такому разі, можна застосувати модель самоорганізованої СМ з заявками на послідовну в часі передачу ПД між вузлами мережі з використанням оригінального евристичного алгоритму інтегрального усікання варіантів за умов забезпечення найбільшого сумарного об'єму мережевого трафіку і мінімізації ресурсів мережі, що забезпечують пропускну спроможність.

Таким чином, гарантоздатність СМ при передачі ПД забезпечується алгоритмом маршрутизації та технологічно імплементованими в відповідне програмне забезпечення управління маршрутизацією засобами забезпечення конфіденційності і цілісності при обміні даними, а саме – засобами криптографічними захисту інформації (КЗІ), що за стандартним функціональним профілем захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу



забезпечують рівень гарантій безпеки мережі. Гарантоздатність СМ при передачі ПД а також забезпечується за рахунок віртуалізації простору функціонування гетерогенної СМ.

За наявності проактивної технології антивірусного захисту інформації в СМ і системи захисту інформації в складі програмного забезпечення управління вузлами мережі та засобів КЗІ забезпечується гарантоздатність системи інтелектуального управління маршрутизацією мережі.

Метод управління маршрутизацією в мережі забезпечує стійкість функціонування СМ в разі нестабільного функціонування мережевого інтерфейсу, відмов обладнання, а також зовнішніх і внутрішніх впливів на функціональний стан мережі.

Математична модель СМ може бути представлена зв'язним графом

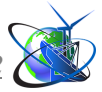
$$G = (V, E),$$

де V - множина вузлів графа, що представляє мережа, E - множина ребер графа, що з'єднує вузли і відображає можливий маршрут слідування потоків даних.

Кожному ребру $e_{ij} \in E \forall \{i, j\} \in V$ графа G поставлено у відповідність невід'ємне число $c_{ij} \geq 0$, що визначає пропускну здатність ребра, як функція ціни при передачі потоків даних. Введемо поняття функції зайнятості каналу ПД f_{st} між вершинами s і t , яка є додатньою функцією на ребрах графа G $f_{ij} \geq 0$ за умови того, що ПД не накопичується в проміжних вузлах мережі між вузлами s і t , тобто

$$\sum_k f_{ki} = \sum_j f_{ij}, \forall i \in V, i \neq \{s, t\}$$

і не перевищує пропускну спроможність каналу ПД, а саме $f_{ij} \leq c_{ij}$ і $e_{ij} \in E$. Залишкова пропускна здатність ребра e_{ij} визначається як різниця пропускну здатності ребра і ПД по ньому, тобто $c_{ij}^f = c_{ij} - f_{ij}$. В такому разі з графу мережі G отримуємо залишкову мережу $G' = (V, E^f)$, в якій залишаються ребра з



додатною залишковою пропускною спроможністю.

Ініціація процесу ПД в СМ визначається, як поява заявки в мережі між парою вершин з множини $\{\{s_1, t_1\}, \dots, \{s_n, t_n\}\}$ полюсів. Час життя заявок обмежений часом обслуговуванням заявок за умови встановленого маршруту ПД між полюсами. Тим самим, забезпечується вивільнення пропускної спроможності ребер мережі у разі задоволення заявки, і маршрут між полюсами є прокладеним. Після закінчення часу життя заявка скидається, звільняючи відповідну пропускну здатність ребер мережі. Множина ПД між кожною парою полюсів через вузол m є продуктом $\{s_m, t_m\}$, і може бути визначена, як продукт v_m .

Таким чином, в якості обмеженого ресурсу СМ, що визначає функцію ціни, може бути обрано пропускну спроможність каналів зв'язку, які визначають вартість ребра (дуги) моделі мережі G .

Множина ребер, видалення яких розриває мережу на кілька незв'язних між собою частин таким чином, що полюса знаходяться в різних частинах мережі, визначає множину $\mathcal{R}_m$ - множину мінімальних розрізів кожного продукту v_m та пропускну спроможність цих розрізів - R_m . В такому разі вирішення задачі мережі дискретної динамічної оптимізації при взаємодії конфліктуючих вузлів СМ ПД з використанням евристичного алгоритму інтегрального усікання варіантів зводиться до пошуку маршруту ПД найменшої вартості, причому значення вартості присвоюються ребрам мережі в залежності від кількості мінімальних розрізів продукту і пропускної спроможності мережі, а також кількості елементів (*hops*) синтезованого маршруту.

В залежності від способу визначення вартості дуг моделі мережі G для визначення функції ціни застосовується субоптимальний мінімально-розрізний алгоритм, що орієнтований на синтез і вибір маршруту ПД за ребрами граф-моделі G СМ, які мають найбільший резерв пропускної спроможності каналів і мінімальну кількість елементів синтезованого маршруту. Таким чином,



запропонований алгоритм дозволяє обслуговувати найбільшу кількість заявок впродовж визначеного проміжку часу.

Таким чином, гарантоздатність розподілених сервіс-орієнтованих СМ забезпечується шляхом використання засобів КЗІ і віртуалізації простору функціонування мережі [4] за рахунок управління щільністю навантаження каналів ПРД при інформаційній взаємодії вузлів мережі. При цьому засоби КЗІ забезпечують вимоги доступності, цілісності і конфіденційності при обміні. Щільність навантаження каналів передачі даних між вузлами мережі враховується функцією ціни при синтезі і виборі рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних.

Підсумки та висновки.

При проведенні досліджень щодо розробки нових і вдосконалення існуючих методів управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології за умов забезпечення гарантоздатності доцільним є використання інтегрально-топологічних методів аналізу складних систем, які базуються на використанні математичних моделей опису властивостей процесів, пов'язаних з функціонуванням мереж як систем, що дозволяє отримати топологічні структури формальних просторів функціонування та рішення для синтезу та вибору управлінь сенсорними мережами.

Інтегрально-топологічні методи дослідження та аналізу складних систем в просторі функціонування дозволяють виявити характеристики взаємодії моделі сенсорної мережі, які включають параметри гарантоздатного функціонування при синтезі та виборі рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних з врахуванням невизначеностей і взаємодії конфліктуючих елементів мережі.

Розглянуті формальні моделі є основою для дослідження процесів маршрутизацією в гетерогенних мережах передачі даних варіативної топології.

Література:

1. Семко О.В. Методологія інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології /О.В.Семко,



В.В.Семко, В.Л.Бурячок, П.М.Складаний // Сучасна спеціальна техніка. - 2018. – Випуск 4(55). - С.64-76.

2. Bandral, M.A, & Aggarwal, A.K. Analysis of Proactive, Reactive and Hybrid Routing Protocols for Improving Quality of Service в Mobile Ad-Hoc Networks. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 30 (4), 2015/ p. 186-191. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V30P237

3. Arpitha & Biradar. Survey on Proactive and Reactive Protocols in MANETs . *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5 (4), 2014. p. 133-137. <https://www.ijser.org/onlineResearchPaperViewer.aspx?Survey-on-Proactive-and-Reactive-Protocols-in-MANETs.pdf>

4. Dimakis AG та ін. A survey on network codes for distributed storage //Proceedings of the IEEE. - 2011. - Т. 99. - №. 3. - p. 476-489.

Abstract. When studying methods for managing the routing of data streams in sensor networks of variable topology under conditions of uncertainties and limitations, it is proposed to apply the methodology: system-structural analysis of the processes of interaction of conflicting network nodes, as a study of the phenomenon as a whole, which consists of a system of substructures, which in turn consist of elements, and as subsystems included in the system of a higher level of system-functional analysis of the processes of ensuring guarantee capability when operating sensor networks, as a study to identify all the main relationships of network nodes with data flow routing control processes, both an internal heterogeneous network environment and an external environment that includes an intranet/internet data transmission system; in identifying the nature and methods of influence of some elements and substructures of sensory networks to others.

Key words: routing, sensor networks, guarantee, data network, interaction of network nodes, data flow