



UDC 681.5(042.3)

METHOD OF INTELLIGENT RESOURCE MANAGEMENT OF TELEMEDICAL SYSTEMS

МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СИСТЕМ

Semko V.V. / Семко В.В.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф*

ORCID: 0000-0001-5157-4264

*Institute of Applied Management Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Hlushkov Ave. 40, 03187**Інститут прикладних систем управління НАН України,
Київ, пр.. Глушкова, 40, 03187***Semko O.V. / Семко О.В.***s.t.s., as.prof. / 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, Kyiv, Chokolivskiy Blvd. 13, 03186**Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
Київ, Чоколівський бульвар, 13, 03186*

Abstract. В телемедичних системах і комп'ютерних мережах на даний час все більшого поширення набувають мережі зв'язку гетерогенної топологічної структури, які включають до свого складу підсистеми передачі, накопичення і обробки інформації з використанням дротової і бездротової технології передачі даних. Використання бездротових складових призводить до ускладнення топологічних структур за рахунок їх варіативності, що впливає на управління ресурсами ТМС, управління потоками даних і параметрами, що визначають показники гарантоздатності функціонування системи. Формальні моделі функціонування телемедичних систем є основою для дослідження процесів оптимального управління процесами і ресурсами в таких системах.

Key words: телемедична система, оптимальне управління, математична модель, система інтелектуального управління.

Вступ

Параметри, що визначають спосіб оптимального управління процесами передачі даних (ПД), визначаються при рішенні задачі динамічної дискретної оптимізації відповідно формальної моделі управління вузлами (хостами) телемедичної системи (ТМС) за умов невизначеності топології і параметрів, які визначають динамічні властивості їх елементів. Крім того, необхідно враховувати змінну в часі систему обмежень щодо значень параметрів гарантованого управління і обмежень віртуального простору функціонування мережі ПД. В такому разі значення параметрів управління процесами ПД і



показники, що визначають гарантоздатність ТМС, можуть бути зведені в формальний критерій, який визначає принцип оптимальності при синтезі і виборі стратегій оптимального управління ТМС і її компонентами в конфлікуючих гетерогенних сенсорних мережах (СМ) ТМС варіативної топології (ВТ) [1], [2].

Сервіс-орієнтовані ТМС є розподіленими самоорганізованими системами збирання, накопичення, обробки і передачі даних до певного хоста або до зовнішньої мережі через інші сенсори з використанням дротових і бездротових каналів ПД. Такі мережі, як правило, мають канали взаємодії з вузлами ТМС, що можуть перевищувати гранично припустимі відстані. В такому разі вибір топології ТМС має безпосередній вплив на вибір протоколів, параметрів каналів взаємодіючих вузлів та процес ПД. Саме тому дослідження моделей ТМС ВТ і методів інтелектуального управління підсистемою ПД за умов забезпечення гарантоздатності є важливим при створенні сервіс-орієнтованих систем медичного призначення.

Прагматична сутність систем інтелектуального управління (СІУ) компонентами (об'єктами) ТМС визначаються перш за все наявністю взаємозв'язків, правил та відношень, як між внутрішніми компонентами, так і з компонентами зовнішнього середовища. Взаємозв'язки між компонентами описуються, як правило, моделями, що відображають специфіку взаємодії цих компонент, елементів та підсистем з зовнішнім і внутрішнім середовищем в умовах невизначеностей, довільних обмежень та конфлікту. При цьому невизначеності обумовлені неоднозначністю, неповнотою або відсутністю даних про вектор стану і параметри функціонування СІУ; неконтрольованими завадами вимірювання значення параметрів; зовнішніми та внутрішніми збуреннями; властивостями параметричного простору функціонування ТМС і комп'ютерних систем (КС); наявністю об'єктів системи, які знаходяться в стані конфлікту [2]. Під конфліктом в цьому сенсі розуміють явище взаємодії по різному цілеспрямованих сторін – об'єктів технічних систем (ТС), які або мають складний опис, що не може бути використаним практично або взагалі не може бути повною мірою описаним формально і вербально.

Основний текст

Маршрутизація (*routing*) є однією з ключових функцій мережного рівня



базової еталонної моделі взаємодії відкритих систем - моделі *OSI (Open Systems Interconnection Basic Reference Model)*, яка є абстрактною мережевою моделлю для комунікацій і розробки мережових протоколів. В даному випадку протоколи є способом забезпечення взаємодії і обміну даними між обчислювальними системами вузлів ТМС з її іншими компонентами [3].

Основною ціллю технологій і протоколів ПД є мінімізація (максимізація) значень обраних показників якості обслуговування (швидкості передачі, середньої затримки, джитера, втрат пакетів й ін.) в мережі, а також забезпечення збалансованого завантаження мережі ТМС, її каналних і буферних ресурсів, а також апаратно-програмних компонент (АПК). Таким чином, при управлінні процесами ПД в ТМС необхідно забезпечити контроль і збір інформації про стан мережі (топології, завантаження мережних ресурсів, тощо), АПК ТМС, синтез і вибір маршрутів ПД.

Методи і алгоритми маршрутизації пакетів та ПД в гетерогенних ТМС будуються за технологією багаторазової ретрансляції (*Multihop*), як самоорганізованої динамічної сервіс-орієнтованої сенсорні мережі (СМ) ВТ.

Теоретико-множинна модель ТМС описує її компоненти, функціональність та взаємодію через множину та відношення між ними. Це дозволяє формально структурувати систему та забезпечити її аналіз на різних рівнях.

Основними компонентами, які входять до складу математичної моделі (ММ) ТМС є: пацієнти, сенсори, телекомунікаційна мережа (ТКМ), обчислювальні вузли, система прийняття рішень, інтерфейс пацієнта, інтерфейс лікаря, інтерфейс медичного оператора, система захисту інформації, сховище даних.

Компонента ММ пацієнт є джерелом похідних даних щодо фізіологічного стану, які надаються сенсорами. Визначимо множинну пацієнтів ТМС $P = \{P_i\}, i = \overline{1, n}$.

Сенсори є компонентою ММ ТМС, яка забезпечує з збором даних про фізіологічний стан пацієнтів. Сенсори забезпечують процес вимірювання даних (пульс, артеріальний тиск, електрокардіограма (ЕКГ), температура, сатурація,



тощо). Множину сенсорів можна визначити, як $S = \{S_{ij}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, що пов'язані з пацієнтом P_i і номером j сенсора. В такому разі функцію вимірювання можна визначити як $S_{ij}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)\}$, де $x_k(t)$ - показник моменту часу.

ТКМ (мережа передачі даних) описується графом $G = (V, E)$, де V - вузли мережі (пристрої, сервери), E - канали передачі даних. В загальному випадку ТКМ є гетерогенною варіативною топологією.

Суттєвою характеристикою функціонування ТКМ є затримка передачі даних τ , яка в загальному випадку визначається як $\tau = \frac{L}{C} + d$, де L - об'єм переданих даних, C - пропускна здатність каналу передачі даних, d - затримки в мережі.

Обчислювальний вузол є процесом обробки даних, який включає M методів і характеризується значенням часу обробки $T_{proc} = f(L, R)$, Lt R - обчислювальна потужність вузла ТКМ.

Інтелектуальна модель прийняття рішень використовує A -алгоритми, які на основі отриманих даних синтезують рішення про стан пацієнта. Формально модель синтезу, вибору і прийняття рішень з використанням інтелектуальної моделі можна представити у вигляді $D_i = A(X_i)$, де X_i - множина показників, що визначають фізіологічні параметри стану пацієнта P_i .

Користуючись апаратно-програмним інтерфейсом виходячи з отриманих даних і синтезованих рішень лікар обирає відповідні рішення щодо лікування пацієнта D_i .

В такому разі можна визначити в загальному вигляді математичні моделі збору, передачі, обробки медичних даних про фізіологічний стан пацієнта, прийняття рішень та роботи ТМС в цілому.

Для кожного пацієнта збір похідних даних можна визначити, як

$$X_i(m) = \bigcup_{j=1}^{K_i} C_{ij}(t), \text{ де } K_i \text{ кількість сенсорів для пацієнта } P_i.$$



Для моделі передачі даних оберемо значення швидкості передачі даних для сенсорів C_{ij} у вигляді $\omega_{ij}(m) = \frac{L_{ij}(m)}{\tau_{ij}}$, де $L_{ij}(m)$ - обсяг даних, τ_{ij} - час передачі даних. Виходячи з того, що обробка даних про фізіологічний стан пацієнта виконується в обчислювальному середовищі медичного оператора, в якості ника доцільно обрати час обробки, який визначається функцією $\eta = \sum_{i=1}^n f(L_i, \theta)$, де θ - продуктивність обчислювального середовища.

Модель синтезу і прийняття рішення в загальному вигляді може бути представлена у вигляді постановки задачі розпізнавання образів і класифікації. Класифікація стану пацієнта $\Omega_i = \operatorname{argmax}_{\mu} \mu(P(\mu | X_i))$, де Ω_i - класифікація i -го пацієнта, μ - множина можливих станів пацієнта (норма, аритмія, критичний стан, тощо).

Модель роботи ТМС в цілому можна оцінити по інтегральному часу обробки даних $\aleph = \sum_{i=1}^n (\tau_i + \eta_{C_i})$, де τ_i - час передачі даних пацієнта P_i , η_{C_i} - час обробки даних і синтезу рішення μ_i .

Концепція створення і використання СІУ ТМС передбачає взаємодію вузлів (хостів, компонент) з навколишнім середовищем, наявність мотивації, можливість використання знань для синтезу мети, оцінки, прийняття рішення і синтезу стратегії управління, а також контроль і аналіз управляючих впливів на стан об'єкту управління (ОУ). Згідно концепції в складі СІУ виділяються два основні блоки: синтезу мети і забезпечення процесу її досягнення (рис. 1).

В якості концептуальної математичної моделі опису процесів, що відбуваються в СІУ, можна прийняти співвідношення:

$$\left[\begin{array}{l} T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_1} M \times T; C \times T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_3} R \times T; \\ C \times T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_3} R \times T; T \times \dot{X} = \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T; \\ T \times Y = \{D \times T\} X \times T; T \times R \times Y \xrightarrow{\alpha_4} C \times T, \end{array} \right.$$



де T — множина моментів часу X, S, M, C, R, Y — множини станів системи, середовища, мотивації, мети, прогнозованого і реального результатів відповідно; $\{A\}, \{B\}, \{D\}$ — матриці параметрів системи; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ і α_4 — інтелектуальні оператори перетворення, що використовують знання.

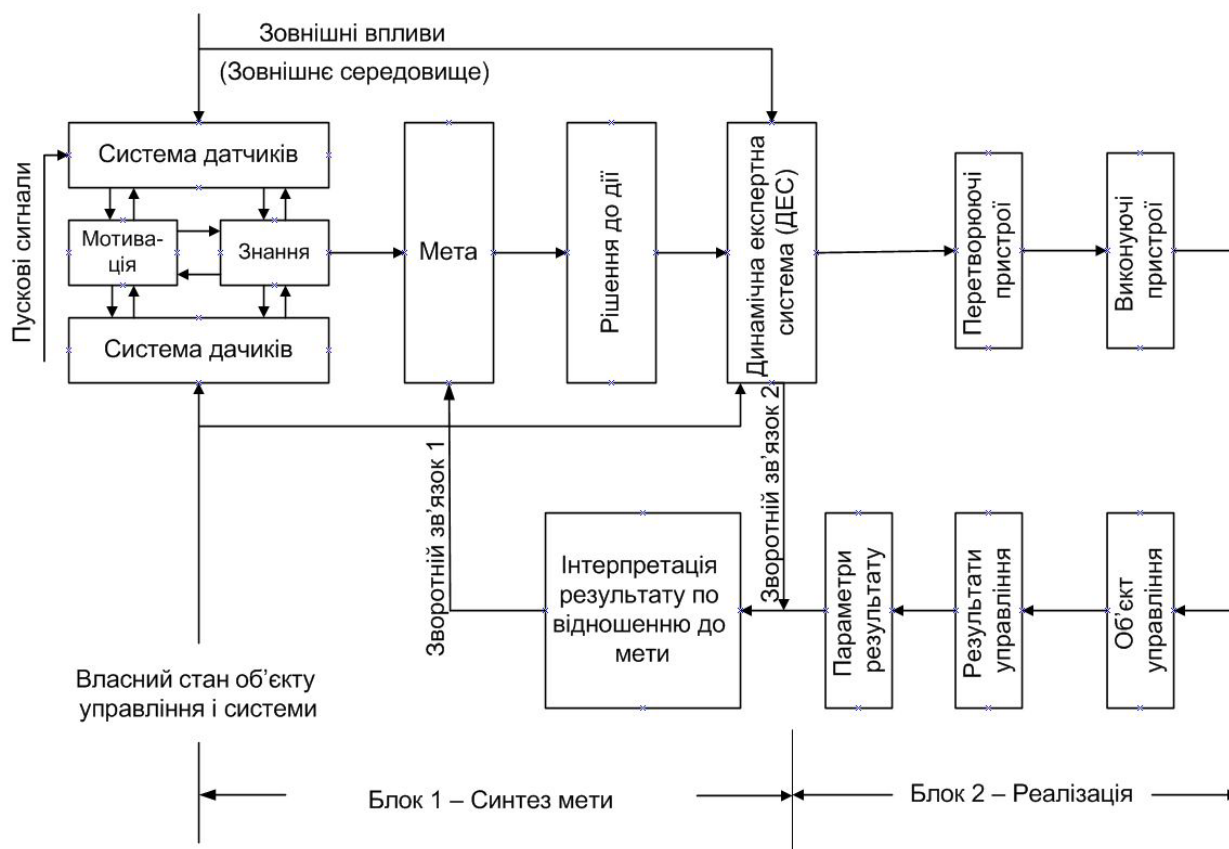


Рис. 1. - Структурна схема системи інтелектуального управління

Рішення проблеми кількісного та якісного описів процесів в інтелектуальній системі пов'язане з необхідністю визначення операторів $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ і α_4 .

Виходячи з логічних і інтуїтивних аспектів обробки інформації, СІУ забезпечують виконання функцій:

- синтезу мети на підставі мотивації, відомостей про довколишнє середовище та стан системи;
- інтеграції з різноманітною складною інформацією, що має перехресні зв'язки і містить невизначеності, та отримання відповідного (наближеного) рішення в реальному часі;



- синтезу і застосування необхідної інформації та індуктивно синтезованих знань;
- синтез стратегій та управляючих впливів для досягнення мети.

Автоматизація і інтеграція логічного та інтуїтивного підходів в технології обробки інформації CIY забезпечує доповнення і заміну функцій особи, що приймає рішення (ОПР) в автоматизованих системах управління (СУ).

Підсумки та висновки

Виходячи з ММ ТМС можна сформулювати задачі забезпечення ефективного функціонування системи з врахуванням вимог критеріїв: мінімізації витрат на обробку, зберігання та передачу даних; максимізації точності та швидкості діагностики; оптимізації використання ресурсів системи (серверів, мережевої інфраструктури); забезпечення заданого рівня безпеки та доступності [4], [5].

В якості змінних, що визначають стан ТМС в параметричному просторі параметрів спостереження визначимо:

x_i – частка ресурсу (обчислювальної потужності або пропускну здатності мережі), виділена для i -го вузла системи $x_i \geq 0$;

y_j – кількість оброблених запитів від користувача j , $y_j \geq 0$;

z_k – рівень безпеки (шифрування, автентифікація, тощо) для даних, пов'язаних із вузлом k , $z_k \in [0,1]$.

Функцією цілі визначимо мінімізацію витрат [1], [2]

$$F_1(x, y, z) = \sum_{i=1}^n C_i(x_i) + \sum_{j=1}^m W_j(y_j) + \sum_{k=1}^p B_k(z_k),$$

де $C_i(x_i)$ - витрати на обчислювальні ресурси вузла i ;

$W_j(y_j)$ - витрати на передачу та зберігання даних користувача j ;

$B_k(z_k)$ - витрати на забезпечення безпеки даних вузла k .

Визначимо функцію оцінки продуктивності



$$F_2(x, y, z) = \sum_{j=1}^m \frac{P_j(y_j)}{T_j(x, z)},$$

де $W_j(y_j)$ - продуктивність діагностичних алгоритмів для користувача j ;

$T_j(x, z)$ - час обробки запиту користувача j , що залежить від розподілу ресурсів x і рівня безпеки z .

Визначимо загальну функцію оцінки

$$F(x, y, z) = \alpha F_1(x, y, z) - \beta F_2(x, y, z),$$

де α і β - вагові коефіцієнти, які задають пріоритети між витратами та продуктивністю.

Визначимо обмеження ресурсів ТМС.

Обмежені ресурси $\sum_{i=1}^n x_i \leq R_{total}$, де R_{total} - загальний обсяг доступних ресурсів

ТМС.

Час відповіді ТМС $T_j(x, z) \leq T_{max}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$.

Рівень безпеки $z_k \geq Z_{min}, \forall k \in \{1, \dots, p\}$, де Z_{min} - порогове значення рівня безпеки.

Забезпечення доступності $A(x, z) \geq A_{min}$, де A_{min} - мінімальний рівень доступності ТМС.

В такому разі оптимальними будуть значення x^*, y^*, z^* , які мінімізують функцію $F(x^*, y^*, z^*) = \arg \min_{x, y, z} F(x, y, z)$.

Задача оптимізації може бути розв'язана за допомогою: лінійного програмування (Linear Programming, LP) для лінійних функцій витрат і обмежень; методів нелінійного програмування (Nonlinear Programming, NLP) для врахування нелінійних залежностей; еволюційних алгоритмів (наприклад, генетичного алгоритму) для складних і багатокритеріальних задач.

Розглянуті формальні моделі є основою для дослідження процесів оптимального управління ресурсами в телемедицинських системах.



Література:

1. Чикрий А.А. Конфликтно управляемые процессы. Киев: Наукова думка, 1992. 382с.
2. Павлов В.В. Конфликты в технических системах .Киев: Вища школа, 1982. 184с.
3. Семко О. Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. №52. С.135-139.
4. Понтрягин Л.С., Болтянский В.В., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Москва: Наука, 1983. 393с.
5. Рихтер К. Динамические задачи дискретной оптимизации. Москва: Радио и связь, 1985. 136с.

Abstract. *In telemedical systems and computer networks, communication networks of heterogeneous topological structure are currently becoming more widespread, which include subsystems for transmitting, accumulating and processing information using wired and wireless data transmission technology. The use of wireless components leads to the complication of topological structures due to their variability, which affects the management of TMS resources, the management of data flows and parameters that determine the indicators of the reliability of the system's functioning. Formal models of the functioning of telemedical systems are the basis for studying the processes of optimal management of processes and resources in such systems.*

Key words: *telemedicine system, optimal management, mathematical model, intelligent management system*