

УДК 681.3:621.39:51

ПАСХІН А.М.

## **СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНИХ СТРУКТУР МЕДИЧНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

У даній статті було проваджено опис методології побудови та проектування систем для телемедицини. Набір методів, що мають бути використані для вибору апаратних засобів та мережевої топології, було проаналізовано із метою створення єдиного механізму побудови оптимальних структур мережевих систем із точки зору “ціна-якість” та відповідність поставленій задачі. Напрями проектування систем було наведено та проаналізовано. В результаті аналізу було запропоновано вихідні положення, які є основою для проектування оптимальної телемедичної системи.

The description of methodology of design and construction of the system for telemedicine was provided in this article. The variety of methods that should be used to select system's hardware as well as the network topology analysis were done to create the mechanism of building optimal structures of networking systems from the point of view of price vs quality and requirements. The telemedical system design approaches were provided and analyzed. As a result of analysis the points leading to the optimal design of the telemedical system were provided.

**Вступ.** На сьогоднішній день неможливо уявити таку сферу людської діяльності, в якій не використовувалася б обчислювальна техніка. Медицина також не є виключенням – створюються бази даних пацієнтів, розробляються великі діагностичні експертні системи, комп'ютерна техніка використовується для аналізу інформації, що надходить від спеціалізованих пристроїв [2, 4, 5].

Окрім елементи телемедицини (під цим терміном мається на увазі застосування комунікацій у медичних цілях) досить часто зустрічається в медичній практиці.[3] Проте, реалізація цього напряму застосування інформаційних технологій в медицині з більш загальних позицій передбачає:

- Створення спеціалізованого інформативного центру з штатом фахівців (лікарів, програмістів, електронників, зв'язківців), які забезпечують професійну й технічну підтримку комплексу, його ефективного застосування під час вирішення конкретних медичних завдань.
- Використання спеціалізованої апаратури, за допомогою якої створюється збір, обробка та передача медичної інформації.
- Наявність мережі телекомунікацій, що забезпечують зв'язок між постачальниками та користувачами медичної інформації.
- Застосування програмного забезпечення, яке пов'язує в єдиний комплекс усі елементи системи.

Крім того, при роботі системи телеконсультацій мають використовуватися певні режими експлуатації апаратури, застосовуються певні специфічні формати медичних даних, протоколів обміну інформацією тощо.

Існує велика кількість різноманітних засобів побудови мережевих систем і телемедичних систем зокрема. Однак в архітектурі таких систем необхідно виділити головні риси, притаманні більшості телемедичних систем.

**Наявність серверної частини** – серверу бази даних, файл-серверу, серверного програмного забезпечення, до якого під'єднуються клієнти. Подібний сервер, виходячи із його типу може бути застосований для наступних операцій – збереження даних про пацієнтів (електронні історії хвороби), здійснення контролю клієнтів, забезпечення зручного поєднання багатьох клієнтів в одну мережу та ін.

**Клієнтське програмне забезпечення**, за допомогою якого лікар із віддаленого комп'ютеру може під'єднуватися до серверу і здійснювати передачу даних. Клієнтські комп'ютери можуть бути як стаціонарними робочими станціями, ноутбуками, іншими комунікаційними пристроями (КПК, мобільний телефон) із при'єднанням до локальної мережі, або до мережі типу Internet.

**Комп'ютери для використання консультантами.** За допомогою даних комп'ютерів консультанти мають можливість при'єднуватись до мережі та здійснювати консультації як в режимі онлайн, так і з певною періодичністю (особливо якщо використовуються бази даних). Можливо використовувати сервери в якості одночасно і комп'ютерів для консультантів.

Сучасна телемедицина являє собою широкий спектр різноманітних технологій, що розрізняються за інженерною складністю, вартістю, клінічною ефективністю [3]. Новий виток розвитку мобільної телемедицини пов'язаний з появою широкодоступних мобільних телефонів з убудованими фото- і відеокамерами й мультимедійними засобами (так звані камерафони, смартфони) і різноманітних сервісів операторів мобільного (супутникового) телефонного зв'язку (голосовий зв'язок, текстові SMS повідомлення, мультимедійні MMS повідомлення, VoIP, мобільний Інтернет WAP/GPRS і т.д.). Дані засоби значно розширюють можливості побудови та використання систем телемедицини та їх практичного застосування [6].

**Постановка задачі.** Завдяки всім тим можливостям, що надає розвиток комп'ютерної техніки сьогодні для побудови розподілених систем, виникає цілком доцільне питання – яка ж з можливих моделей є найбільш доцільною для даної конкретної задачі і чи існує методологія оцінювання параметрів системи з метою визначення її характеристик і придатності до розв'язання тих чи інших поставлених задач. Необхідно побудувати методику синтезу мережевої структури телемедичної системи, яка є оптимальною з точки зору критеріїв ефективності функціонування, та вимог, що до неї висуваються.

**Вирішення задачі.** Найбільш поширеними критеріями ефективності функціонування сучасних інформаційно-обчислювальних систем є такі:

- продуктивність інформаційно-обчислювальних систем, зумовлена кількістю задач, які розв'язуються системою в одиницю часу;
- мінімальний середній час одержання результатів виконання кожної задачі у системі.

Вищенаведені критерії відіграють визначальну роль при проектуванні архітектури системи, призначеної для виконання відомої скінченої множини прикладних задач, тому на них варто звернути особливу увагу. Архітектура інформаційно-обчислювальної системи, синтезована за першим критерієм, може істотно відрізнятись від архітектури системи, синтезованої за другим критерієм. В зв'язку з цим інформаційно-обчислювальні системи у залежності від критеріїв оцінювання їхньої ефективності мають різні назви.

Системи, організовані за першим критерієм, називаються системами *пакетної обробки*, а системи, організовані за другим критерієм – *системами оперативної обробки* [1].

Системи пакетної обробки даних передбачають використання потужного обчислювального центру. Зазвичай для цього використовується мейнфрейм. При пакетній обробці дані про операції накопичуються протягом деякого періоду часу і періодично обробляються. Цей метод побудови систем є найбільш потужним – оскільки дозволяє виконати в одиницю часу найбільш можливу кількість запитів користувача. Проблемою однак є недостатня інтерактивність такого підходу – користувач має чекати певний час доти доки його запит буде виконано разом із іншими запитами даного пакету.

Системи оперативної обробки є системами реального часу і мають два режими функціонування:

- режим поділу часу;
- діалоговий режим, у якому обробку задач організовано шляхом послідовного виділення квантів часу для всіх задач, взятих на обробку. Такі системи називаються системами з поділом часу (СПЧ).

У СПЧ час примусово кантується механізмом, що входить до складу системи. Інформаційно-обчислювальні системи, призначені для вирішення задач у реальному часі (поданих у вигляді послідовних незалежних підзадач, що займають процесор на частки секунди), називають діалоговими системами (ДС). У ДС немає примусового поділу часу між задачами, які в даній системі обробляються.

Розглянемо типові для інформаційно-обчислювальної системи критерії оцінювання якості її функціонування. Одна з основних характеристик – час відповіді, тобто проміжок часу від моменту надходження завдання в систему до моменту завершення роботи:

$$u_i = t_i^3 - t_i^n$$

де  $t_i^n$  та  $t_i^3$  – час надходження і завершення  $i$ -тої роботи відповідно.

У загальному випадку тривалість виконання кожної роботи різною мірою впливає на оцінку ефективності функціонування системи. Все залежить від того, як терміново треба вирішити ту чи іншу задачу. На практиці для оцінювання ефективності функціонування обчислювальної системи використовують так звані функції штрафу  $\alpha_i$ . Наприклад, функція штрафу для  $i$ -тої роботи –  $\alpha_i = \alpha_i(u_i)$ . У цьому разі ефективність системи оцінюється загальним штрафом:

$$C = \sum_{i=1}^M \alpha_i(u_i)$$

Найчастіше функцію штрафу зображають лінійною формою, тобто

$$\alpha_i(u_i) = C_i * u_i$$

де  $C_i$  – коефіцієнт, який визначає розмір штрафу за затримку вирішення  $i$ -тої задачі в одиницю часу. Тоді другий критерій маємо у вигляді:

$$C = \sum_{i=1}^M C_i * u_i$$

Якщо затримки різних робіт однаковою мірою впливають на ефективність системи ( $C_i = \text{const}$ ), то мінімум  $C$  досягається при мінімумі сумарного часу відповіді. Тож показником якості слід вважати сумарний час відповіді (тобто середній час виконання роботи в системі):

$$u = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M u_i$$

При проектуванні розподіленої системи варто передбачити можливість зменшення часу виконання кожної окремої роботи. Для цього слід створювати деякий резерв обчислювальної потужності, тобто систему в середньому завантажувати, наприклад, на 40-60% від її максимальної потужності. Маючи резерв можна ставити питання про забезпечення прийняттого для користувачів значення часу відповіді системи незалежно від запитів.

Якщо заявка, що надійшла негайно береться до виконання, говорять, що система працює в режимі оперативної обробки. Всі заявки таким чином є активними, незалежно від їхнього числа на вході система забирає їх і виконує в режимі мультипрограмування. Слід зауважити, що в такому випадку передбачається, що продуктивність системи перевищує інтенсивність надходження заявок, інакше на вході можуть з'явитися великі черги необроблених задач. Беручи до уваги той факт, що телемедична система має працювати із максимально можливою швидкістю, слід при проектуванні системи забезпечити можливість роботи системи і в режимі оперативної обробки.

Практично слід передбачити два можливі режими роботи – можливість роботи в пакетному режимі і оперативному режимі, якщо є необхідність. Пакетний режим не вимагає негайного реагування і тому процесорний час розподіляється із максимальною ефективністю. Його слід використовувати для збереження нової електронної картки пацієнта або оновлення інформації в ній. Для проведення аналізу стану хворого, для оцінювання ступені ураження тощо слід використовувати оперативний режим, оскільки час має величезне значення. Практично ж можливість системи працювати в оперативному режимі передбачає її можливість роботи в пакетному режимі (транзакції баз даних), тому головним завданням є створення системи з оперативним режимом роботи.

Слід мати на увазі, що при побудові систем реального часу існує можливість “простою” системи – стану, коли система очікує реакції користувача на запит системи на ввід даних.

Синтез системи оперативної обробки даних зводиться до вибору тієї архітектури технічних засобів обчислювальних систем, в разі застосування яких система виявляється найкраще придатною до розв'язання задач заданого класу.

Щоб оцінити ефективність системи, використовують критерій збалансованості. Суть цього критерію в наступному. Нехай система оперативної обробки (СОО) призначається для вирішення  $r$  типів задач, що надходять на обробку з інтенсивностями  $\lambda_1, \dots, \lambda_r$ , і складається з  $n$  пристроїв з цінами  $S_1, \dots, S_n$  і швидкостями  $V_1, \dots, V_n$  відповідно.

Для задач кожного типу характерним є визначення потреб у ресурсах пристроїв  $1, \dots, n$  (ресурсів оперативної і зовнішньої пам'яті, каналів і ПВВ, часу процесора).

Виходимо з того, що для будь-якої архітектури побудови технічних засобів можуть бути визначені коефіцієнти простою пристроїв  $\eta_1, \dots, \eta_n$  відповідно, які можна обчислити як доповнення до одиниці коефіцієнтів завантаження  $\rho_1, \dots, \rho_n$ , тобто  $\eta_i = 1 - \rho_i$ , а також такі характеристики, як середні часи перебування  $V_1, \dots, V_r$  задач типу  $1, \dots, r$  у системі оперативної обробки.

Значення коефіцієнту простою та середнього часу перебування залежать в першу чергу від характеристик задач, що визначаються класом задач, які розв'язуються.

Перелічені вхідні дані дозволяють критерій збалансованості виразити формулою

$$C = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n S_i * \eta_i + \sum_{j=1}^r d_j * \lambda_j * V_j$$

де  $T$  – період експлуатації СОО, який обчислюється в таких же одиницях, що і інтенсивності  $\lambda$ ,  $d_1, \dots, d_n$  – штраф за затримку виконання одного із завдань  $I, \dots, r$ .

Взагалі, задачу оптимального проектування СОО можна сформулювати так: вибрати архітектуру технічних засобів системи оперативної обробки, щоб мінімізувати критерій збалансованості системи.

Задачу синтезу за визначеної структури системи оперативної обробки можна виконати застосувавши одну із нижченаведених постановок:

- Синтезувати систему, яка забезпечує розв'язання  $\lambda_0$  задач в одиницю часу, коли можливий час відповіді мінімальний, причому вартість системи не повинна перевищувати  $S^*$  заданого.
- Синтезувати систему, яка забезпечує розв'язання  $\lambda_0$  задач в одиницю часу, коли середній час не перевищує задану величину  $V^*$ , причому вартість системи повинна бути мінімальною.

Перш за все нам необхідно визначитись із переліком задач, які має розв'язувати система, та в потребах в ресурсах для розв'язання даних задач. Задачі, які мають стояти перед системою наступні:

- Мережеве при'єднання та виконання запитів до розподіленої СКБД, виконання запитів до файлсерверів, використання серверного програмного забезпечення, що здійснює управління комплексом телемедичної системи. Дане завдання полягає в отриманні електронної картки пацієнта, яка містить, окрім текстових даних, також і інформацію інших типів – рентгенівські знімки, кардіограми тощо. Дане завдання потребує використання потужної СКБД рівня Oracle, Sybase, які мають можливість одночасно підтримувати велику кількість сесій та при цьому забезпечувати швидкий доступ до даних кожному окремому користувачу. Для розв'язання такої задачі необхідним є використання багатопроцесорної техніки із потужною оперативною пам'яттю та жорстким диском.
- Мережевий обмін інформацією. Дана задача вимагає можливості обміну мережевими пакетами TCP/UDP за прийнятний час. Така задача не потребує великих апаратних ресурсів, але існує необхідність у використанні потужної мережі із високою швидкістю та низьким рівнем перешкод. Тож, необхідним є використання потужних роутерів, ADSL модемів, фізичних засобів передачі даних. В загальному випадку будемо приймати достатнім використання мережі Інтернет із швидкістю передачі даних 128кб/с. Таким чином, окрім сервера із потужними ресурсами необхідно мати значно менш потужні клієнтські станції із достатньо високою швидкістю обміну даними через мережу Інтернет (в тому числі можливо з використанням WAP/GPRS)

Така інформація дозволяє визначити номенклатуру пристроїв обчислювальної системи і конфігурацію зв'язків між ними – тобто структуру системи. Слід відразу відзначити, що особливістю телемедичних систем є використання розподілених технологій типу “клієнт-сервер”. Системи розподіленої обробки даних у інформаційних мережах належать до найбільш прогресивних форм організації як засобів обчислювальної техніки, так і інформаційно-телекомунікаційних систем. Проектування і використання таких систем передбачає можливість доступу користувачів до всієї інформації, що зберігається у вузлах мережі, зокрема до текстових та графічних файлів та файлів баз даних. Сьогодні навіть звичайні текстові файли доцільно зберігати в СКБД, що дозволить отримати єдину структуру і використовувати єдині оптимізовані алгоритми доступу до даних.

Створення і експлуатація розподілених баз даних (РБД) вимагають вирішення низки проблем. Однією з головних проблем є оптимальний, з погляду обробки запитів користувачів, розподіл файлів даних по вузлах інформаційно-телекомунікаційної мережі.

Існуючі методи вирішення даної задачі не дозволяють будувати моделі оптимального розподілу файлів по вузлах у мережах з довільною топологією, тому при синтезі інформаційної телемедичної системи слід задатися питанням топології мережі, якою буде користуватися система для обміну інформації та роботі із розподіленими ресурсами.

Необхідність вирішення проблем проектування вимагає аналізу існуючих засобів та систем, методів та протоколів із метою відбору найбільш доцільних, що дозволяють вирішити наступну низку задач:

- Побудова ефективних та оптимальних структур даних.
- Побудова та використання оптимальних моделей організації та пошуку інформації в БД.
- Оптимальний розподіл інформаційних ресурсів по вузлах інформаційно-телекомунікаційної мережі і організація оптимального доступу до інформації у вузлах.
- Оптимальна організація роботи процесорів багатопроцесорної ЕОМ.

Виходячи із того факту, що найбільш ймовірною мережевою топологією є зіркова, що використовується і для обміну даними в Інтернет, то розглянемо особливості оптимізації розміщення інформації саме для такої організації мережі. Оптимальне розміщення файлів можна визначати за допомогою характеристики – загальний середній час відповіді на запит по всій розподіленій інформаційно-телекомунікаційній системі. А потім за критерій оптимальності береться обсяг даних, які потребують пересилання в результаті функціонування системи протягом одиниці часу.

Припустимо, що всі вузли мережі з'єднані у зіркоподібну конфігурацію через комутатор даних. Кожен окремий вузол зірки доцільно представити у вигляді підмережі, яка має власну локальну базу даних та термінальні пристрої. Звичайно рознесення СКБД на декілька локальних є визначальним при побудові глобальних телекомунікаційних мереж (всукраїнської), де кожна локальна СКБД зберігає дані про населення того чи іншого міста, району, області тощо. Відповідно, кожна локальна мережа опрацьовує 2 типи запитів – запит до власної локальної БД (локального серверу) і запит до даних, які знаходяться в іншій підмережі. Це створює 2 типи черг, причому перша черга (запити до інших вузлів) є більш пріоритетною, ніж та, що несе запити до локального вузла. Пріоритетність обрано так, оскільки для отримання відповіді із віддаленого вузла, слід пройти ще крізь чергу комутатора, тож надання вищого пріоритету таким задачам дозволяє наблизити час обробки запитів.

Використання зіркової топології дозволяє вирішити одну із суттєвих проблем, що виникає при створенні та використанні розподілених баз даних та роботі з ними – знайти оптимальний з погляду обробки запитів користувачів розподіл файлів даних по вузлах мережі. Особливостями створення зіркоподібної технології є два підходи по вирішенню задачі оптимальності:

1. За критерій оптимальності беремо загальний середній час відповіді на запит по всій інформаційно-телекомунікаційній телемедичній системі.
2. За критерій оптимальності беремо обсяг даних, які в процесі функціонування системи потребують пересилання за одиницю часу.

Застосування зіркоподібної технології для розміщення даних в інформаційно-телекомунікаційній системі забезпечує підвищення ефективності обробки інформації у розподілених базах даних, що у свою чергу сприяє підвищенню продуктивності самих мереж.

Ідея побудови моделі оптимального розподілу файлів по вузлах інформаційно-телекомунікаційної мережі з зіркоподібною топологією може бути використана і для побудови моделі оптимального розподілу файлів по вузлах інформаційно-телекомунікаційної системи з кільцевою топологією, але із урахуванням певних

особливостей даних мереж, а саме необхідності введення довідників локальних баз даних у кожному із вузлів

**Висновки.** Таким чином, при синтезі телемедичної системи, доцільно використовувати наступні технології та принципи:

1. Необхідно використати систему із розподілом інформації у вигляді локальних серверів даних, або баз даних, що дозволить ефективно вирішити задачу розміщення інформації та пошуку по інформації.
2. Необхідно забезпечити можливість роботи системи в оперативному режимі, що можливо при використанні багатопроцесорної техніки та потужних обчислювальних машин, що мають велику кількість оперативної пам'яті, швидкий процесор та широкі канали I/O – такий обчислювальний засіб доцільно використовувати як єдиний сервер, що координує роботу мережі, виконує обчислення та аналіз даних.
3. В якості організації мережі слід використати зіркову топологію, як найбільш доцільну при використанні РБД, бо на відміну від кільцевої топології вона не потребує додаткових інформативних ресурсів, таких як словники баз даних і не використовує черги на всі вузли мережі, а тільки на комутатор, який знає, куди слід направити той чи інший запит.
4. При побудові системи слід намагатися мінімізувати втрати на побудову та підтримку системи при отриманні задовільного часу на відповідь
5. Кожна система повинна мати свій ресурс потужності, що дозволить за будь-яких умов в системі, незалежно від запитів мати можливість отримувати постійну швидкість відповіді на кожен кінцевий запит, яка задовольнить користувача системи за рахунок використання ресурсів системи у разі необхідності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Глоба Л.С. Математичні основи побудови інформаційно-телекомунікаційних систем. – Київ: Наріта-Плюс, 2007. – 360 с.
2. Колоднок А.В. Проект “Національної Стратегії Розвитку Інформаційного Суспільства України”, 19.12.2005.
3. Григорьев А.И., Орлов О.И., Логинов В.А., Дроздов Д.В., Исаев А.В., Ревякин Ю.Г., Суханов А.А. Клиническая телемедицина. – Москва: Слово, 2001. – 144 с.
4. Казаков В.Н., Лях Ю.Е., Владзимирский А.В. Концептуальная схема национальной медицинской компьютерной сети “Укрмеднет” // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 1999. – Т. 8. – № 1. – С. 8-12.
5. Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века. (Под редакцией проф. Юсупова Р.М. и проф. Полонникова Р.И.). – СПб.: Изд. “Анатолія”. 1998. – 488 с.
6. Владзимирский А.В. Мобільний телефон в сучасній телемедицині, Український журнал телемедицини. – Т. 3. – № 2, 2005. – С. 18-24.