

УДК 629.735.051:681.323(045)

¹С.В. Павлова, д.т.н., доц.
²О.М. Євтушенко, асп.

МЕРЕЖЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМ CNS/ATM

Національний авіаційний університет

¹E-mail: psv@nau.edu.ua²E-mail: olena_eyvtushenko@ukr.net

Розглянуто архітектури сучасних мережевих технологій. Показано тенденції розвитку авіаційної мережі CNS/ATM. Проаналізовано принципи організації цифрових мереж та можливість їх використання для побудови «авіаційного інтернету».

Ключові слова: інформаційна технологія, комп'ютерна мережа, Cloud Computing, CNS/ATM, Grid, Net-centric system.

Постановка проблеми

Для підвищення інтенсивності потоків повітряних суден (ПС), безпеки та ефективності авіаційного транспорту запроваджується глобальна скоординована аеронавігаційна система зв'язку, навігації, спостереження / організації повітряного руху CNS/ATM, яка є єдиною авіаційною цифровою мережею передачі інформації [1].

Використання обчислювальної техніки та впровадження супутникових засобів зв'язку, що забезпечують високу швидкість збирання, обробки та передачі даних, зумовлює застосування інформаційних технологій для вирішення складних завдань управління повітряним рухом.

Сьогодні існує тенденція до перетворення системи електрозв'язку в «авіаційний інтернет», який має базуватися на мережевих технологіях отримання та обробки інформації. Тому розгляд CNS/ATM як обчислювальної мережі та її архітектури є актуальним.

Мета роботи – аналіз існуючих мережевих технологій, визначення архітектури та підходів до організації цифрових мереж, можливості їх використання в цивільній авіації.

Аналіз публікацій

Відповідно до глобального аеронавігаційного плану [1] для побудови єдиної скоординованої системи аеронавігаційного обслуговування повинні використовуватися сучасні технології та цифрова техніка, але єдиного підходу щодо організації такої системи немає.

У праці [2] обґрунтовано використання концепції віртуальних функціональних систем як основи для створення регіональних систем CNS/ATM, що являють собою обчислювальне

середовище, створене розподіленою у просторі мережею вузлів та зв'язків між ними.

У працях [3; 4] систему CNS/ATM розглянуто як комп'ютерну мережу.

На сьогодні проблема вдосконалення зв'язку, навігації, спостереження, управління та організації повітряного руху як єдиної комп'ютерної мережі з усіма притаманними їй особливостями (затримки передачі інформації, динамічність) залишається невирішеною.

Комп'ютерні мережі

Комп'ютерна мережа – це сукупність вузлів (комп'ютерів, терміналів, периферійних пристроїв), які здійснюють інформаційну взаємодію один з одним за допомогою комунікаційного обладнання та програмного забезпечення [5; 6].

Комп'ютерні мережі класифікують за масштабом дії [2]:

– локальні обчислювальні мережі LAN (Local Area Network);

– глобальна мережа WAN (Wide Area Network).

Для LAN характерні якісні лінії зв'язку (як фізичні, так і віртуальні) і, як наслідок, вища швидкість передачі інформації.

Особливістю WAN є надлишок фізичних і віртуальних ліній зв'язку, але порівняно з локальними більшість глобальних мереж відрізняє повільна швидкість передачі та менша надійність.

Конвергенція LAN та WAN значно підвищує якість мереж і розширює спектр послуг.

Максимальна швидкість (до 2 Гбіт/с) досягається використанням оптоволоконного кабеля. Рекорд швидкості передачі даних (2,56 Тбіт/с) установили вчені зі США, Китаю, Ізраїлю, Пакистану, використовуючи оптоволоконний кабель.

Технологію, засновану на спеціальному механізмі генерації світлових потоків зі спіральним фазовим фронтом, у майбутньому можна застосовувати в кабельних та супутникових системах передачі даних.

Для стандартизації комп'ютерних мереж Міжнародна організація стандартів ISO запропонувала семирівневу мережеву архітектуру – еталонну модель взаємодії відкритих систем OSI (Open System Interconnection), яка дає уявлення про взаємодію підсистем мережі [7].

Рівні моделі OSI взаємодіють зверху вниз і знизу вгору за допомогою інтерфейсів і можуть ще взаємодіяти з таким же рівнем іншої системи за допомогою протоколів (табл. 1).

Таблиця 1

Модель OSI

Вигляд інформації	Рівень
Дані	Прикладний (доступ до мережних служб)
Дані	Відображення (відображення і кодування даних)
Дані	Сеансовий (керування сеансом зв'язку)
Блоки	Транспортний (безпечне та надійне з'єднання «точка–точка»)
Пакети	Мережевий (логічна адресація: визначення маршруту та IP)
Кадри	Канальний (фізична адресація)
Біти	Фізичний (кабель, сигнали, бінарна передача)

Перед подачею в мережу дані розбиваються на пакети. Пакет проходить послідовно через усі рівні. На кожному рівні до нього додається інформація (форматовувальна чи адресна), необхідна для успішної передачі даних мережею.

На кінцевому пункті пакет проходить через усі рівні в зворотному порядку. На кожному рівні програмне забезпечення «читає» пакет, потім видаляє інформацію, додану до нього на тому самому рівні комп'ютера-відправника, і передає

пакет наступному рівню. Коли пакет дійде до прикладного рівня, вся адресна інформація буде видалена, а дані набудуть початкового вигляду.

Новітні технології

Розподілені обчислювальні Grid-системи використовуються для великих об'ємів однорідної обробки інформації і за призначенням поділяються на такі:

- обчислювальні системи (Computational Grid);
- системи для зберігання великих масивів даних (Data Grid).

Універсальна програмно-апаратна інфраструктура Grid об'єднує розрізнені комп'ютери в єдину територіально-розподілену інформаційно-обчислювальну систему. Технологія Grid полягає в сумісному використанні обчислювальних потужностей і сховищ даних та ефективна для вирішення таких завдань:

- розподілення високопродуктивних обчислень, що потребують максимальних процесорних ресурсів, пам'яті;
- проведення громіздких разових розрахунків;
- обчислення з залученням великих об'ємів розподілених даних, наприклад, у метеорології.

Цільова спрямованість Grid – дослідження, де є велика кількість однотипних завдань.

Архітектуру програмного забезпечення Grid-системи зазвичай подають у вигляді рівнів [8], де верхній рівень відповідає прикладному завданню, а нижній – керує обладнанням. У табл. 2 мережевий рівень прийнято за базовий, який забезпечує зв'язок з іншими мережевими ресурсами.

На базі мережевого рівня функціонує рівень ресурсів.

Вище розташований рівень проміжного програмного забезпечення, завдання якого полягає в організації спільної узгодженої роботи всіх пристроїв Grid (серверів, сховищ і мереж).

У верхньому рівні (прикладному) виділяють сервісний підрівень, що забезпечує підрахунок кількості користувачів, облік постачальників та споживачів Grid-ресурсів.

Таблиця 2

Структура GRID

Рівень	Функція	Склад
Прикладний	Інтерфейс Grid	Додатки Grid-системи
Проміжного програмного забезпечення	Керування Grid	Служби уніфікованого доступу до ресурсів, аутоінтефікації та авторизації, безпеки
Ресурсів	Оброблення інформації	Суперкомп'ютери, сховища, сервери, пристрої збору даних з підключенням до мережі
Мережевий	Передача інформації	Концентратори, комутатори, мережеве обладнання

Концепція використання обчислень за принципом комунального господарства була запропонована Джоном Маккарті [9].

Хмарні обчислення (Cloud Computing) – модель забезпечення зручного та постійного мережевого доступу за вимогою до загальних обчислювальних ресурсів, які можуть бути оперативно надані та звільнені з мінімальними експлуатаційними затратами. Термін «хмара» застосовується як образ складної інфраструктури, за яким приховані всі технічні деталі.

Національним інститутом стандартів і технологій США визначено характеристики хмарних обчислень, які можуть бути застосовані до технологій, що використовують в авіаційній галузі [10]:

- самообслуговування за вимогою: користувач самостійно визначає та змінює обчислювальні потреби, наприклад, швидкість доступу й обробки даних, об'єм збереженої інформації;
- універсальний доступ до мережі незалежно від використовуваного термінального пристрою;
- об'єднання ресурсів забезпечує динамічне розподілення потужностей між користувачами;
- еластичність: послуги можуть бути надані, розширені, звужені в будь-який момент часу;
- облік використання: пропускна здатність, кількість користувачів.

Переваги хмарних обчислень:

- високий рівень доступності;
- низький ризик непрацездатності;
- швидка масштабованість системи;
- скорочення капітальних витрат на побудову центрів обробки даних, закупку обладнання.

Недоліки хмарних технологій:

- створення неконтрольованих даних (неможливо видалити непотрібну інформацію);

- ймовірність втрати даних;
- ризик, пов'язаний із безпекою.

Для забезпечення узгодженої роботи вузлів обчислювальної системи використовують програмне забезпечення, яке проводить моніторинг стану обладнання й програм, балансування навантаження, забезпечення ресурсів для вирішення завдань.

Однією з основних особливостей архітектури хмарних технологій є шар серверної віртуалізації, розміщений між шаром програмних послуг та апаратним забезпеченням. Завдяки віртуалізації балансування навантаження здійснюється розподілом віртуальних серверів по реальним, що передбачає:

- розміщення кількох логічних серверів у рамках одного фізичного;
- об'єднання кількох фізичних серверів в один логічний для вирішення конкретного завдання.

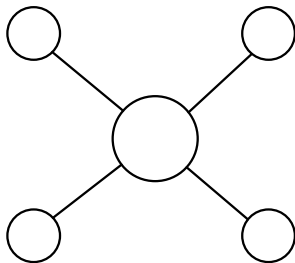
Крім того, наявність шару віртуалізації сервера спрощує відновлення систем, що вийшли з ладу, з будь-якого комп'ютера.

Згідно з мережецентричним принципом командування у військовій галузі США кожна частина на полі бою, засоби зв'язку та розвідки, включаючи військові супутники й безпілотні ПС, кожен солдат об'єднані в одну інформаційну мережу для постійного обміну інформацією [11].

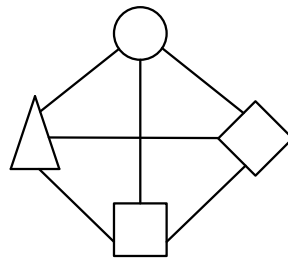
Існує три основних типи мережевих архітектур [12]:

- централізована (тип А);
- «за запитом» (тип Е);
- зграйна або архітектура «рою» (тип G).

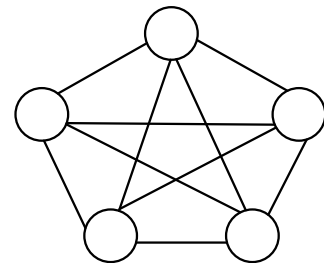
Більш реалістичними виглядатимуть змішані архітектури типів В, С, D, F.



а



б



в

Рис. 1. Основні типи мережевих архітектур:

а – тип А;

б – тип Е;

в – тип G

У централізованій архітектурі (рис. 1, а) центральний найцінніший вузол оточений безліччю менш цінних. У разі втрати його працездатності втрачається працездатність інших засобів і система перестає функціонувати. У мережевих архітектурах типу В і С менш цінні вузли продовжують працювати без нього.

Мережевій архітектурі типу Е (рис. 1, б) притаманні рівноцінність та неоднорідність.

Мережева архітектура «рою» (рис. 1, в) – комбінація рівноцінних та однорідних засобів – найперспективніша. Для ефективного функціонування системи такі засоби повинні обмінюватися інформацією, розподіляти її з метою підготовки даних про навколишню ситуацію, самосинхронізуватися для підвищення можливості підключення вузлів. Інколи «рій» ідентичних засобів доповнюється центральним вузлом, який обирається довільним чином, залежно від необхідних характеристик (тип С – «рій» з вузлом керування).

Архітектурна концепція CNS/ATM

Інформаційні технології є основою для побудови єдиної авіаційної мережі. Аналогічно будь-якій мережі згідно зі стандартами OSI архітектура системи CNS/ATM є багаторівневою. Відповідно можна провести паралелі між звичайною комп'ютерною мережею та «авіаційним інтернетом»:

- вузлами CNS/ATM є радіоелектронні засоби ПС, наземні та супутникові засоби електрозв'язку, кожен з яких є транслятором та ретранслятором у мережі;

- мережі CNS/ATM можна поділити на локальні та глобальну.

Локальною мережею виступає зв'язок кожного ПС безпосередньо з супутником, іншим ПС, диспетчерським центром, наземними радіостанціями. Крім того, кожен сучасний літак має свою бортову локальну цифрову мережу.

Глобальна мережа – це вся система авіаційного зв'язку CNS/ATM, вузли якої з'єднані каналами зв'язку, якими функціонують організовані інформаційні потоки.

Для системи CNS/ATM характерно:

- ПС є інформаційним вузлом у небі;
- вузли та канали зв'язку не фіксовані;
- мережа змінюється в динаміці.

До CNS/ATM висуваються такі вимоги:

- цілісність;
- зв'язність;
- відкритість;
- конфіденційність.

Цілісність – первинність цілої інформаційної системи відносно її окремих елементів та залежність системи від середовища та інших систем [13].

Цілісність проявляється в будь-якій системі у вигляді симетрії, повторюваності (циклічності), адаптованості та саморегуляції.

Зв'язність характеризує міру міцності з'єднання вузлів системи та їх спрямованості як цілого на вирішення поставлених завдань [14].

Системі CNS/ATM притаманні такі властивості:

- неоднорідність;
- динамічність;
- віртуалізація.

Неоднорідність мережі зумовлена тим, що кожен суб'єкт CNS/ATM є одночасно транслятором і ретранслятором зі своїм набором функцій та характеристик.

Динамічність включає в себе поняття:

- структурна відкритість: в будь-який момент часу будь-який суб'єкт CNS/ATM може без перешкод стати її інформаційним вузлом, при цьому при входженні/вибутті будь-якого суб'єкта в динаміці відбувається видозміна топології мережі;

- інформаційна відкритість: інформація в мережі є доступною для всіх користувачів.

Структурна відкритість породжує динамічність, що вимагає цілісності та зв'язності.

Віртуалізація полягає в тому, що кожна мережа може бути розширена за рахунок перетворення фізичних вузлів та дуг у віртуальну мережу, тобто може бути побудовано декілька віртуальних мереж, кожна з яких сприймається користувачем як окрема мережа з фізичними вузлами та каналами зв'язку [15].

Недолік CNS/ATM полягає у відкритості з погляду не входження нових елементів, а конфіденційності, оскільки при підключенні до спільної мережі інформація стає доступною всім користувачам.

Отже, системі CNS/ATM притаманна висока динамічність інформаційно-керуючих зв'язків.

Особливості режимів функціонування системи CNS/ATM характеризуються наявністю стратегій: острівної, хребтової та конфедеративної з високим рівнем мобільності абонентів, роумінгу проміжних інформаційних підсистем.

Відмітними ознаками режимів функціонування системи CNS/ATM є випадковий характер виникаючих ситуацій [2]:

- нормальних;
- критичних;
- особливих;
- втрата цілісності керування.

Удосконалення систем CNS/ATM відбувається відповідно до Концепції багаторівневої архітектури CNS [16], згідно з якою для задоволення вимог до безперервності операцій та безпеки основа системи повинна бути багатофункціональною і надмірною для забезпечення функціональної цілісності, що передбачає багаторівневу структуру системи (рис. 2).

Функції безперервного спостереження забезпечуються поєднанням радарів, вторинного спостереження та звітів ПС про його місце розташування. Основні нові технології – радіозабезпечення та інтернет – дозволять підключення до глобальної мережі незалежно від основного фізичного каналу.

Основа ATM – послуги інформаційного зв'язку «повітря–земля» – забезпечуватимуться через передачу даних у режимі реального часу.

Ідея побудови архітектури системи зв'язку базується на створенні глобальної мережі з максимальним використанням інтернет-технологій.

Архітектура глобальної мережі зв'язку будуватиметься за мережецентричним принципом (загальна глобальна мережа об'єднує всіх користувачів, які мають адреси в мережі) та характеризується:

- можливістю розширення (модульна, з реконфігурацією та адаптованістю до технології вставки);
- рівневою безпекою (захист відповідає загрозі, що може статися).

Забезпечення нових послуг зв'язку «повітря–земля» включає:

- зв'язок «повітря–повітря»;
- маршрутизацію;
- багатоадресну розсилку;
- доступ до стратегічної інформації управління повітряним рухом;
- передачу повідомлень через інтернет;
- безперебійний зв'язок.

Навігація та посадка забезпечуватимуться переважно розширеною Системою глобального позиціонування GPS (Global Positioning System), Galileo та ГЛОНАСС. Користувачі, які бажатимуть здійснювати польоти за будь-яких погодних умов, зможуть використовувати покращену систему технічного бачення EVS (Enhanced Vision System), що дозволить «бачити» поверхню аеродрому під час заходу на посадку.

Спостереження забезпечуватимуться через злиття/інтегрування даних з усіх доступних джерел:

- автоматичні звіти ПС;
- вторинне спостереження;
- багатоканальний приймач-передавач загального доступу;
- радар.



Рис. 2. Багаторівнева архітектура CNS

Архітектура CNS/ATM використовуватиме розподілені клієнт-серверні мережі та встановлюватиме підключення через сплановані телекомунікаційні інфраструктури.

Мінімальна інформація від спостереження, яку отримуватиме кожен літак, така:

- обліковий запис (ID);
- тривимірне розташування;
- швидкість;
- час;
- призначення літака;
- дані про якість спостереження (для засобів спостереження).

Авторизовані користувачі зможуть обирати інформацію, що відобразить повітряну ситуацію, та спеціалізовану обробку інформації, наприклад, моніторинг відповідності й оповіщення.

Висновки

1. CNS/ATM як інформаційна мережа є сучасною комп'ютерно-комунікаційною цілісною мережею, основою побудови якої є головні принципи архітектури та структури наземних комп'ютерних мереж за єдиним стандартом OSI.

2. Архітектура та принцип організації CNS/ATM аналогічні іншим інформаційним мережам.

3. Доведено необхідність застосування принципів новітніх розробок у галузі інформаційних технологій для вдосконалення систем CNS/ATM.

Література

1. *Doc 9750-AN/963*. Глобальный аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM // Международная организация гражданской авиации. – 3-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2007. – 139 с.

2. *Харченко В.П.* Функціональна «віртуальність» – концепція майбутніх CNS/ATM систем / В.П. Харченко, В.В. Павлов, С.В. Павлова // Вісник КМУЦА. – 2004. – № 2. – С. 19–23.

3. *Павлова С.В.* Концептуальна математична модель складного конфлікту динамічної керованої системи, фрагментарно імерсированої у глобальну комунікаційну систему / С.В. Павлова, В.В. Павлов // 36. наук. пр. ДНДІА. – К.: ДНДІА, 2005. – Вип.8. – С.121–130.

4. *Павлова С.В.* Общая структура агрегатно-упорядоченной модели компьютерной сети / С.В. Павлова // Кибернетика и вычислительная техника. – 2005. – Вып. 148. – С. 89–101.

5. *Курс* дистанционного обучения «Экономическая информатика». – Режим доступа: <http://www.lessons-tva.info/edu/e-inf3/inf3.html>

6. *Родичев Ю.А.* Компьютерные сети: архитектура, технологии, защита / Ю.А. Родичев. – Самара: Универс-групп, 2006. – 468 с.

7. *Энциклопедия* по информатике. – Режим доступа: <http://einf.gym5cheb.ru/p1aa1.html>

8. *Востокин С.В.* Графическая объектная модель параллельных процессов и ее применение в задачах численного моделирования / С.В. Востокин. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2007. – 286 с.

9. *Cloud computing*. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing

10. *Офіційний сайт* Национального института стандартов і технологій США. – Режим доступа: <http://www.nist.gov/itl/cloud/index.cfm>

11. *Сетецентрический принцип*. – Режим доступа: http://wikipedia.org/wiki/Сетецентрический_принцип

12. *Кондратьев А.Е.* Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых концепций ведущих зарубежных стран / А.Е. Кондратьев // Военная мысль. – 2008. – № 12. – С. 63–73.

13. *Додонов А.Г.* Живучесть информационных систем / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.

14. *Энциклопедический словарь*. – Режим доступа: <http://structuralist.narod.ru/dictionary/cohesion.html>

15. *Павлова С.В.* Структурный синтез алгоритма управления компьютерной сетью системы «динамический абонент – динамическая сеть – динамический абонент» / С.В. Павлова // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 5. – С. 120–130.

16. *Mohleji S.C.* Future Vision of Globally Harmonized National Airspace System with Concepts of Operations Beyond Year 2020 / S.C. Mohleji, P.A. Ostwald. – AIAA/IEEE 22nd Digital Avionics Systems Conference, October 2003. – Indianapolis, IN.