

УДК 621.391:004.7

Процедура оновлення програмного забезпечення в системі Software Defined Radio

Л. С. Глоба, В. В. Курдеча, С. В. Суліма

*Національний технічний університету України «Київський політехнічний інститут»,
Україна*

В статті розглянуто особливості застосування технології Software Defined Radio в мобільних радіосистемах зі здатністю реконфігуруватися. Представлена архітектура системи управління мережі, що має здатність до реконфігурації. Запропоновано алгоритми оновлення програмного забезпечення радіопристрою в такій мережі для двох випадків: коли процес ініціюється мережею або користувачем/прикладною програмою. Змодельовано і проаналізовано процес оновлення (завантаження) програмного забезпечення за допомогою системи GPSS World.

Ключові слова: мобільна мережа, SDR, радіосистеми з можливістю реконфігурації, модернізація мобільної мережі, оновлення програмного забезпечення.

В статье рассмотрены особенности использования технологии Software Defined Radio в мобильных реконфигурируемых радиосистемах. Представлена архитектура системы управления реконфигурируемой сети. Предложены алгоритмы обновления программного обеспечения радиоустройства в такой сети для двух случаев: когда процесс инициируется сетью или пользователем/приложением. Смоделирован и проанализирован процесс обновления (загрузки) программного обеспечения с помощью системы GPSS World.

Ключевые слова: мобильная сеть, SDR, реконфигурируемые радиосистемы, модернизация мобильной сети, обновление программного обеспечения.

In the paper the usage of Software Defined Radio technology in reconfigurable mobile radio systems is discussed. Reconfigurable network management system architecture is presented. Radio software update algorithms of the handheld in such network are suggested for two cases: when the process is initiated by the network or by the user/application. Software download process is modeled and analyzed using GPSS World system.

Key words: mobile network, SDR, reconfigurable radio systems, mobile network upgrading, software update.

1. Вступ

Розвиток телекомунікацій характеризується конвергенцією на основі IP-базованої опорної мережі і неперервного доступу (2G, 3G, широкомовного, і т.д.) в обстановці ієрархічних і гібридних самоорганізованих мереж [1-2]. Таким чином, мережним операторам доведеться вирішувати питання підвищення складності. Складність виникає з двох основних джерел. З одного боку, існує невідворотна неоднорідність інфраструктури мереж та терміналів, а з іншого боку, вимоги користувачів, які пов'язують майбутні системи з ускладненими послугами/прикладними програмами, що надаються неперервно і повсюдно. Для досягнення цих цілей, оператори мають розгорнути складні мережні топології гетерогенної природи. Різним технологіям доступу (Radio Access Technology - RAT) доведеться співіснувати та ефективно використовуватися і взаємодоповнюватися в рамках єдиної композитної мережі з поділюваними

ресурсами. Кожна RAT має різні властивості з точки зору ємності, охоплення, підтримки мобільності, вартості і т. д. Таким чином, кожна RAT найкраще підходить для певних ситуацій. У зв'язку з цим, оператору мережі доведеться покладатися на різні RAT для підвищення задоволеності клієнтів, відводячи придатну RAT для виконання відповідних завдань, щоб досягти необхідної якості обслуговування з мінімальними витратами. У такій складній ситуації варіантом є створення безпроводової інфраструктури з використанням можливостей «когнітивних мереж» [3]. Крім того, в якості користувацьких терміналів бажано використовувати пристрої зі здатністю реконфігуруватися, тобто переналаштовуватися, в залежності від телекомунікаційного середовища. Технологія Software Defined Radio (SDR) визначається як ключовий інструмент реалізації таких пристроїв та мереж.

Хоча розробка функціональної архітектури таких пристроїв та відповідної елементної бази вже почалась, тим не менш, для повного використання можливих переваг концепції SDR потрібно набагато більше, ніж обчислювальна потужність терміналів [4] - необхідно забезпечити ще й ефективний механізм взаємодії таких пристроїв у мережі. Більшість науково-дослідних груп SDR (European IST Reconfigurability Cluster Projects [5], Wireless Innovation Forum [6], Wireless World Initiative [7], Wireless World Research Forum, ETSI ...) пропонують свої рішення для побудови вузлів таких мереж та способів їх взаємодії, проте не обов'язково беруть до уваги ефективні методи завантаження програмного забезпечення, а саме завантаження нових програмних модулів і дозволить забезпечити максимальну гнучкість системи в цілому. Реконфігурація шляхом завантаження «по-повітряю» (Over The Air - OTA) визначається [6-8] як основний механізм забезпечення інформацією для оновлення терміналу необхідною функціональністю.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи мобільної стільникової мережі з реконфігураційними властивостями шляхом розробки рекомендацій щодо побудови такої мережі та алгоритму оновлення програмного забезпечення її терміналів, а також визначення раціональних розмірів програмних модулів, які будуть завантажуватися на термінал у випадку оновлення.

2. Архітектура мережі з підтримкою реконфігурації

SDR пристрої - такі елементи безпроводової мережі, режими роботи і параметри яких можуть бути зміненими чи розширеними після виготовлення за допомогою програмного забезпечення. В SDR пристроях використовується програмне забезпечення зі здатністю до адаптації та гнучкі апаратні платформи для вирішення проблем, пов'язаних з постійним розвитком та технічними інноваціями у галузі безпроводового зв'язку, зокрема зміною форми сигналів, методів модуляції, протоколів, служб і стандартів. Такий підхід також використовується для реалізації радіостанцій, щоб задовольнити зростаючі потреби користувачів у спілкуванні у той час, коли вони переміщуються між різними безпроводовими мережами.

Wireless Innovation Forum [9] дає наступне визначення: завантаження програмного забезпечення радіо - процес доставки реконфігураційних даних і/або нового виконаного коду до SDR пристрою для зміни його

функціональності чи режиму роботи. До виконуваного коду, наприклад, відносять програмні блоки, що забезпечують нові алгоритми цифрової обробки сигналів, виправлення помилок та оновлення функціональності чи нового радіо інтерфейсу. Реконфігураційні дані - нові параметри методів модуляції, що вже наявні на пристрої, нові рівні потужності, нові робочі частоти або інші робочі параметри, які використовуються програмним кодом, що вже встановлений на SDR пристрої.

У [6] визначається, що необхідно виділити модуль управління, який контролював би процес завантаження програмного забезпечення. Мережна архітектура, що підтримує процес завантаження програмних модулів зображена на рис. 1, де припускається, що в якості мобільних терміналів виступають SDR пристрої. Архітектура, синтезована в результаті проведених досліджень, враховує результати роботи провідних дослідницьких груп (IST, Motorola, WWRF, Wireless Innovation Forum та ін.) та узагальнює досвід цих організацій у даній області.

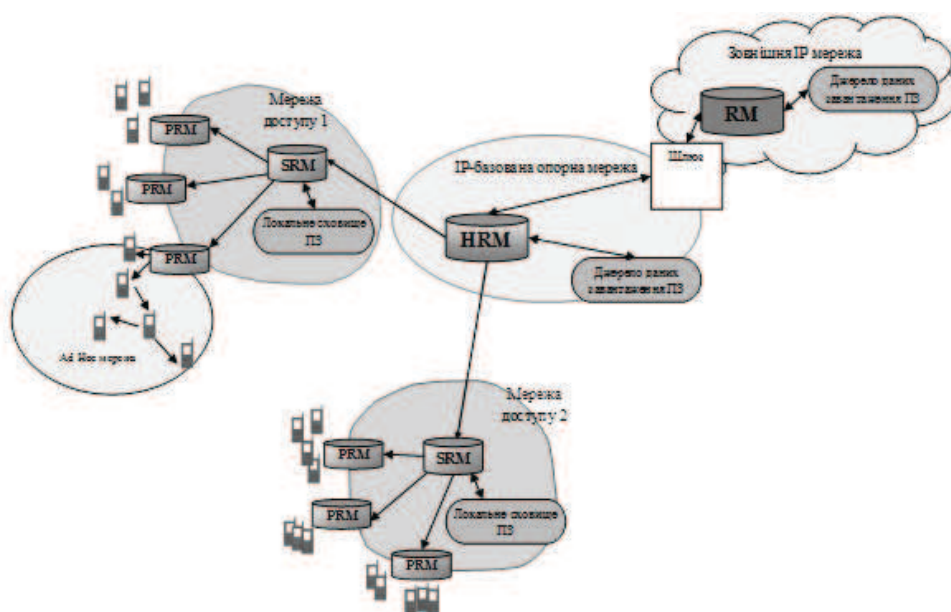


Рис.1. Архітектура мережі з системою управління реконфігурацією

Основна ідея полягає в ієрархічно розподіленій архітектурі [2,5,6,8]. Для цього вводиться проксі менеджер реконфігурації (Proxy Reconfiguration Manager - PRM). PRM виступає в якості проксі для переговорів з іншими об'єктами мережі, зокрема, обслуговуючим менеджером реконфігурації (Serving Reconfiguration Manager - SRM) в мережі доступу і домашнім менеджером реконфігурації (Home Reconfiguration Manager - HRM) в домашній мережі. SRM використовується в кожній мережі доступу і масштабується відповідно до кількості користувачів, які мережа доступу може підтримувати, і очікуваних сервісів мережі доступу. SRM передає інформацію управління до PRM. HRM є відповідальним за білінг, аутентифікацію і безпеку стосовно завантаження

програмного забезпечення. HRM і SRM мають доступ до сховища програмного забезпечення, в якому зберігається колекція програмних модулів, які можуть бути завантажені на термінали. HRM і SRM є ключовими елементами для модернізації великої кількості терміналів і вони звільняють інші модулі мережі від деяких аспектів управління та безпеки, які мають вирішальний вплив на продуктивність мережі.

По відношенню до безпроводової системи джерело даних для завантаження програмного забезпечення може бути внутрішнім або зовнішнім. Крім того, можливий варіант, коли програмне забезпечення спочатку завантажується з сервера на мобільний термінал, який в свою чергу завантажує його в інші термінали з використанням ad hoc з'єднання. Вся архітектура розроблена таким чином, щоб вона була здатна здійснювати оновлення навіть великої кількості терміналів в системі.

3. Процедура оновлення радіопристрою

Для забезпечення швидкої та ефективної модернізації терміналу може використовуватись розроблений в проведеному дослідженні алгоритм, який розглядається далі та ґрунтується на кроках процесу завантаження, визначених Wireless Innovation Forum [6], та мережній архітектурі, зображеній на рис. 1. Розглянуто два випадки завантаження: процес може бути ініційовано мережею або користувачем/прикладною програмою.

3.1. Оновлення ініційоване терміналом користувача

На рис. 2 деталізуються переговори між мережею і SDR терміналом користувача з припущенням, що операція здійснюється з ініціативи користувача:

1. Терміналу необхідно оновити прикладну програму або новий модуль і він відправляє запит на сервер, що забезпечує бажаний програмний модуль. До запиту входить індикатор пріоритету для опису терміновості оновлення.

2. Всі запити від терміналу проходять через місцевий PRM, який перевіряє, чи потрібний файл уже зберігається в локальному кеші. Якщо він наявний, запит більше не перенаправляється і потрібне оновлення передається з кешу на термінал. В іншому випадку PRM направляє запит до відповідного SRM через інтерфейс PRM-SRM.

PRM надсилає розширену відповідь терміналу: пакет одразу містить і відповідь на запит, і дані аутентифікації мережного оператора. Таким чином, використовуючи розширені повідомлення, загальна кількість службової інформації, яка буде додана, зменшиться завдяки тому, що необхідно формувати тільки один пакет, а не два. З іншого боку, у системах з динамічним розподілом каналів (наприклад, CSMA), такий підхід забезпечить необхідність лише одного циклу доступу до каналу щоб передати вищезазначені повідомлення.

3. Якщо запит досягає SRM, SRM перевіряє свою базу даних чи зберігається там відповідний модуль. Якщо це так, то SRM посилає модуль PRM і звідси модуль направляється на термінал. Якщо модуль не зберігається в базі даних SRM, то запит направляється в HRM.

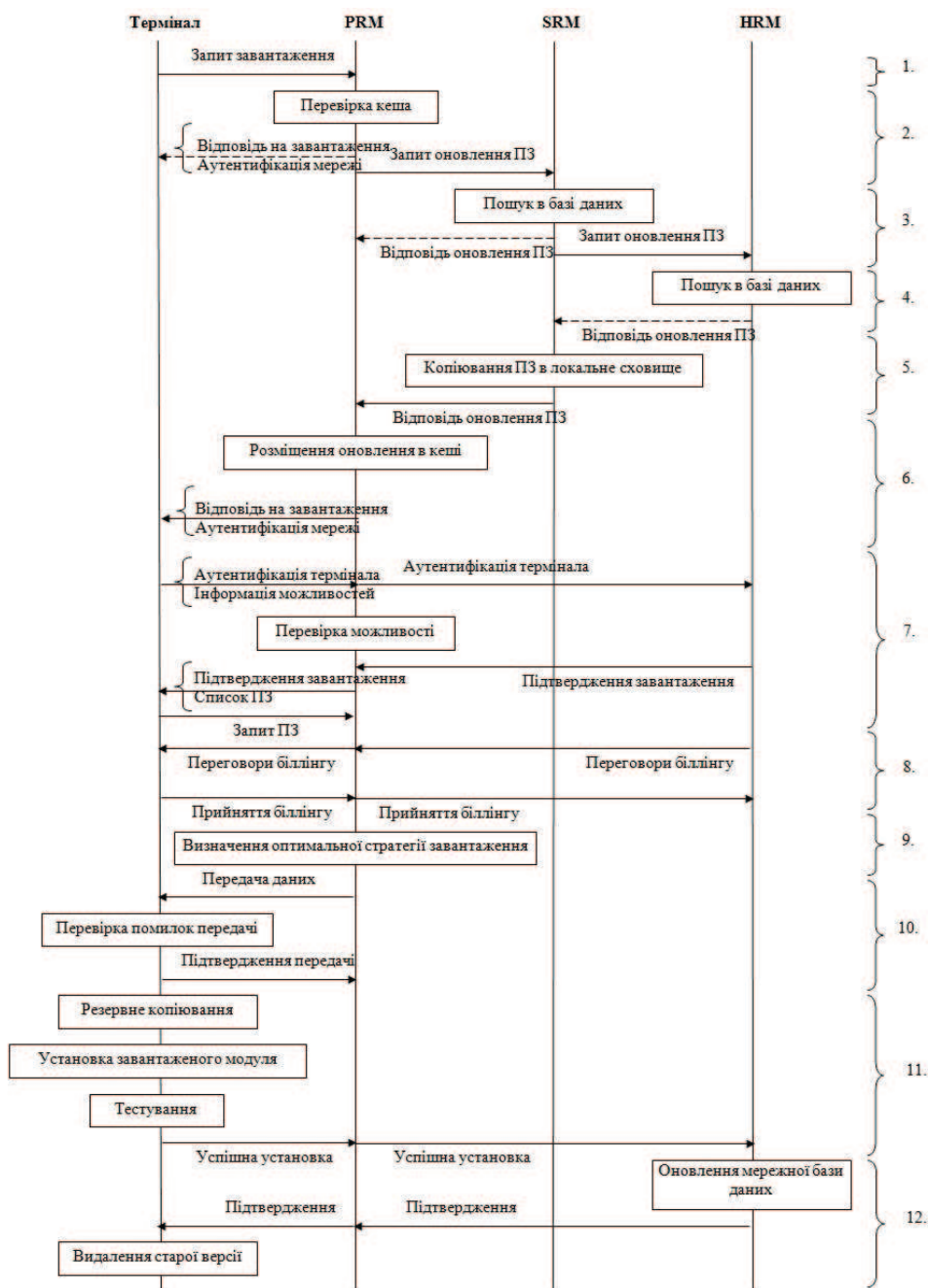


Рис.2. Процедура завантаження програмного модуля ініційована терміналом користувача

4. HRM отримує запит на оновлення програмного забезпечення, вилучає модуль зі своєї бази даних і передає його в напрямку терміналу.

5. Тепер пакети оновлення потрапляють в SRM. Оскільки файли ще не розміщені в локальній базі даних SRM, то він зберігає їх і надсилає PRM.

6. PRM розміщує модуль оновлення в локальному кеші і надсилає розширену відповідь терміналу.

7. Справжність сервіс провайдера або оператора мережі має перевірятися SDR пристроєм для запобігання проведенню операцій із завантаження несанкціонованими мережними операторами. Ці типи операцій аутентифікації можуть проводитися за допомогою методів шифрування відкритим ключем, цифрових підписів, або інших придатних для цього методів. Після цього виконується аутентифікація терміналу для перевірки справжності пристрою SDR і користувача та запобігання несанкціонованому доступу користувачів. Термінал надсилає розширену відповідь, яка одразу містить і інформацію аутентифікації, і інформацію характеристик (щоб переконатися, що термінал здатний підтримувати завантажений об'єкт, а базова станція може підтримувати зв'язок з «новим переналаштованим терміналом»). Поки PRM очікує підтвердження, він виконує перевірку характеристик, що дозволяє прискорити процес. Після перевірки можливостей і отримання підтвердження від HRM, PRM надсилає розширене підтвердження терміналу. Таким чином, скорочується кількість надісланих підтверджень, а отже заощаджується час та мережні і обчислювальні ресурси.

Разом із підтвердженням розширене повідомлення містить перелік підходящих програмних модулів, який створює сервер, спираючись на інформацію про термінал. Користувач вибирає потрібний модуль і запитує його у сервера завантаження.

8. Відбуваються переговори щодо білінгу.

9. На цьому кроці приймається до уваги зазначений пріоритет початкового запиту. Якщо пріоритет високий і/або навантаження на мережу невелике, пакети негайно надсилаються на термінал. Якщо, з іншого боку, пріоритет низький, а навантаження на мережу високе, поставка на термінал повинна відбутися згідно з розкладом. На підставі інформації про можливості мережі та терміналу, мережа обирає відповідні об'єкти програмного забезпечення і набори параметрів. Вибрані об'єкти програмного забезпечення і набори параметрів завантажуватимуться на SDR пристрій.

10. Передача даних і перевірка на помилки.

11. Резервне копіювання попередньої версії модуля може виявитися необхідним у разі неуспіху передачі. Перетворення даних до їх виконуваної форми, зв'язування з рештою системи і тестування для перевірки правильності функціонування.

12. Далі виконується оновлення мережної бази даних для відображення нової конфігурації і надсилання підтвердження. Після цього потрібно видалити старі версії програмного забезпечення для звільнення пам'яті.

3.2. Оновлення ініційоване мережею

На рис. 3 подано процедуру переговорів між мережею і SDR терміналом користувача з припущенням, що операція ініціюється мережею:

1. Провайдер програмного забезпечення повідомляє HRM про оновлення програмного забезпечення для терміналів і поставляє його до HRM, HRM

розміщує програмне забезпечення для оновлення у базі даних і пропонує SRM завантажити новий модуль через радіоінтерфейс.

2. HRM отримує запит на оновлення програмного забезпечення, вилучає модуль зі своєї бази даних і надсилає його в напрямку SRM.

3. SRM копіює оновлення в свою базу даних і відправляє його в PRM.

4. PRM заносить оновлення в локальний кеш та надсилає розширене повідомлення терміналу, яке разом з інформацією аутентифікації мережного оператора містить також інформацію про наявність модуля оновлення.

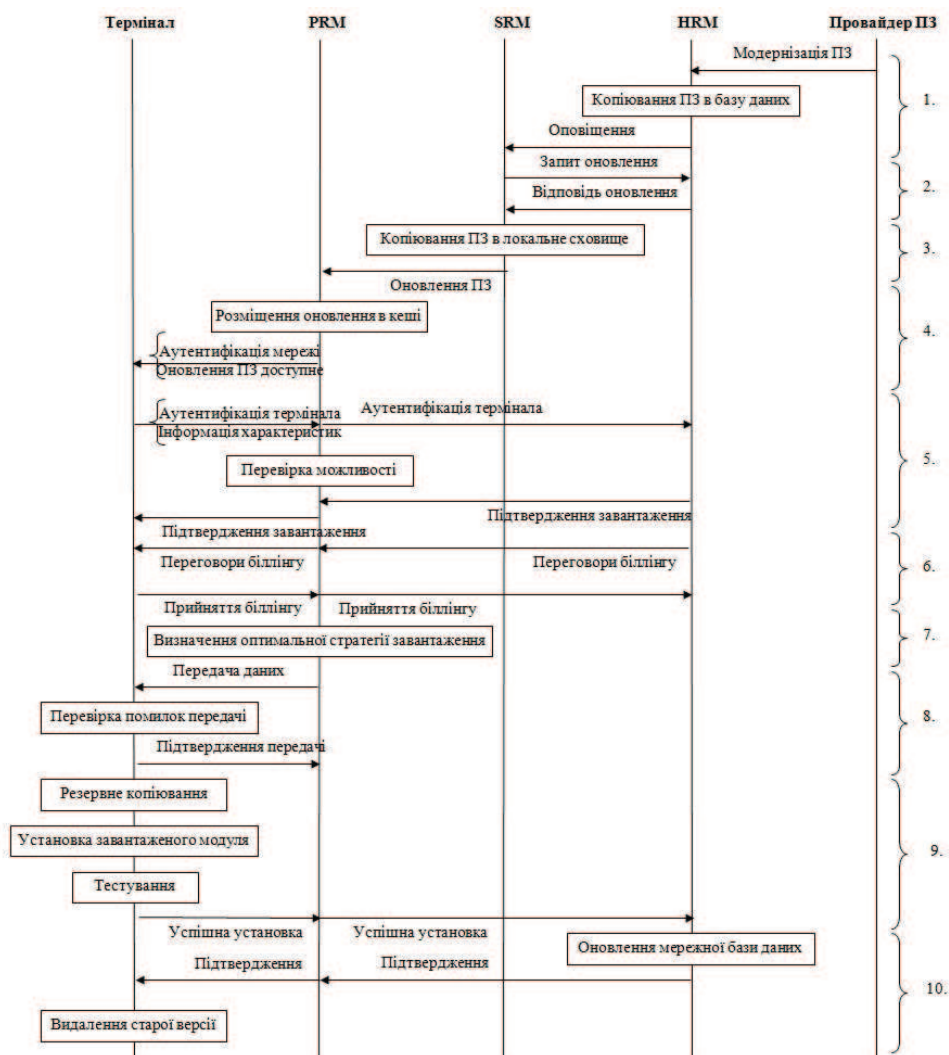


Рис.3. Процедура завантаження програмного модуля ініційована мережею

5. Для підтвердження можна не створювати окреме повідомлення, а в якості підтвердження виступатиме наявність розширеного повідомлення, що містить інформацію аутентифікації терміналу та інформацію про можливості терміналу.

В той час, коли HRM аутентифікує термінал, PRM паралельно перевіряє сумісність характеристик мобільного терміналу з вимогами нового модуля і характеристиками базової станції поточного стільника. Після перевірки можливостей терміналу і отримання підтвердження від HRM, PRM надсилає підтвердження терміналу.

6. Відбуваються переговори щодо білінгу.

7. На наступному етапі PRM порівнює наявні ресурси радіоінтерфейсу і параметр пріоритету повідомлення оновлення. В залежності від результату, PRM планує завантаження. На підставі інформації щодо можливостей обладнання, мережа обирає відповідні об'єкти програмного забезпечення і набір параметрів відповідно до можливостей SDR пристрою. Вибрані об'єкти програмного забезпечення і набори параметрів завантажуватимуться на SDR пристрій.

8. Передача даних і перевірка на помилки.

9. Резервне копіювання попередньої версії модуля може виявитися необхідним у разі неуспіху передачі. Перетворення даних в їхню виконувану форму, зв'язування з рештою системи і тестування для перевірки правильності функціонування.

10. Далі оновлюється мережна база даних для відображення нової конфігурації і надсилається підтвердження. Видалення старих версій програмного забезпечення для звільнення пам'яті.

4. Переваги запропонованого рішення

Розглянута в даному дослідженні ієрархічна розподілена архітектура мережі з реконфігураційними властивостями має наступні переваги над застосуванням суто централізованої або децентралізованої концепції:

1. Зменшення навантаження на мережу:

Використання ієрархічної розподіленої архітектури дозволяє економити ресурси мережі під час її експлуатації, оскільки радіоканал використовується для передачі лише безпосередньо необхідних даних, а на серверах зберігаються лише ті дані, які необхідні, та лише в тому обсязі, який необхідний, враховуючи конкретне телекомунікаційне середовище (число користувачів, яке підтримує мережа доступу, сервіси, які надає мережа, і т.п.). Крім того, виділення в архітектурі спеціалізованих модулів дозволяє перекласти на них завдання керування реконфігурацією, а отже звільнити інші мережні модулі від деяких аспектів керування та безпеки; таким чином, кожен модуль в функціональній архітектурі системи виконуватиме свою спеціалізовану задачу, а отже розроблятиметься і використовуватиметься для найефективнішого виконання саме своєї задачі.

2. Більш швидке завантаження програмного забезпечення:

Це забезпечується у зв'язку з тим, що з великою ймовірністю необхідний програмний модуль можна завантажити за допомогою локального менеджера реконфігурації, який розташовано поблизу.

3. Зниження навантаження на термінал (процесор, пам'ять, джерело живлення):

Термінал звільняється від частоті взаємодії з мережею, оскільки за нього це робить PRM, крім того, у зв'язку з цим можна спростити будову самого мобільного пристрою.

Використання представленого підходу до завантаження програмного забезпечення зменшує кількість необхідних циклів доступу до каналу (в CSMA системах), що зумовлює підвищення продуктивності. Крім того, поліпшується використання радіоресурсів та ресурсів терміналу, а також зменшується затримка, що покращує якість обслуговування.

5. Моделювання процесу завантаження програмних модулів

Важливим питанням є визначення розміру програмних модулів, які будуть завантажуватися на термінал у випадку реконфігурації, з урахуванням необхідності задоволення вимог до якості обслуговування та наявних мережних ресурсів.

Далі розглядається моделювання процесу завантаження програмних модулів у середовищі GPSS World, в якому аналізується тривалість цього процесу за припущення використання систем GSM/GPRS, UMTS та Wi-Fi як радіоканалів за різної інтенсивності надходження запитів, різної їх складності та різного розміру завантажуваного програмного забезпечення. Сервер обробляє запити на завантаження програмного забезпечення, що надходять з терміналів користувачів з інтервалами, розподіленими за показниковим законом. Обчислювальна складність запитів має нормальний закон розподілу. Продуктивність сервера 1000000 операцій в секунду. Межу допустимої тривалості процесу завантаження встановлено у дві хвилини. Розглядаються наступні значення змінюваних параметрів:

- середня обчислювальна складність запитів на завантаження: 15000000 операцій (коефіцієнт складності 1), 30000000 (коефіцієнт складності 2), 45000000 (коефіцієнт складності 3);

- середній інтервал між надходженням запитів: 60 с, 120 с, 240 с;

- розмір завантажуваного модулю: 25 Кбайт, 250 Кбайт, 1000 Кбайт.

Аналіз результатів представлених на рис. 4 показує:

- розмір завантажуваного модулю є суттєвим для технологій з невисокою швидкістю передачі;

- складність запитів до серверу значно впливає на час обслуговування;

- при високій частоті звернень до серверу великі розміри завантаження спричиняють перевищення встановленої межі.

Таким чином, для забезпечення вимог до обслуговування у будь-якій ситуації єдиним варіантом є наступний: середня складність запитів - 15000000 операцій, розмір модулю - 25 Кбайт. Для того, щоб зробити можливим завантаження більших модулів необхідно уникати ситуацій частого звернення до сервера: наприклад, ініціювати завантаження лише коли параметри поточного функціонування досягли критичних значень і вигода від переключення на новий режим є більшою ніж затрати, або необхідно збільшити обчислювальну здатність сервера. У випадку систем з невисокою швидкістю (GSM/GPRS) величина завантажуваного програмного модулю має не перевищувати 25 Кбайт,

що є досить низьким значенням, що робить їх непридатними для потреб завантаження.

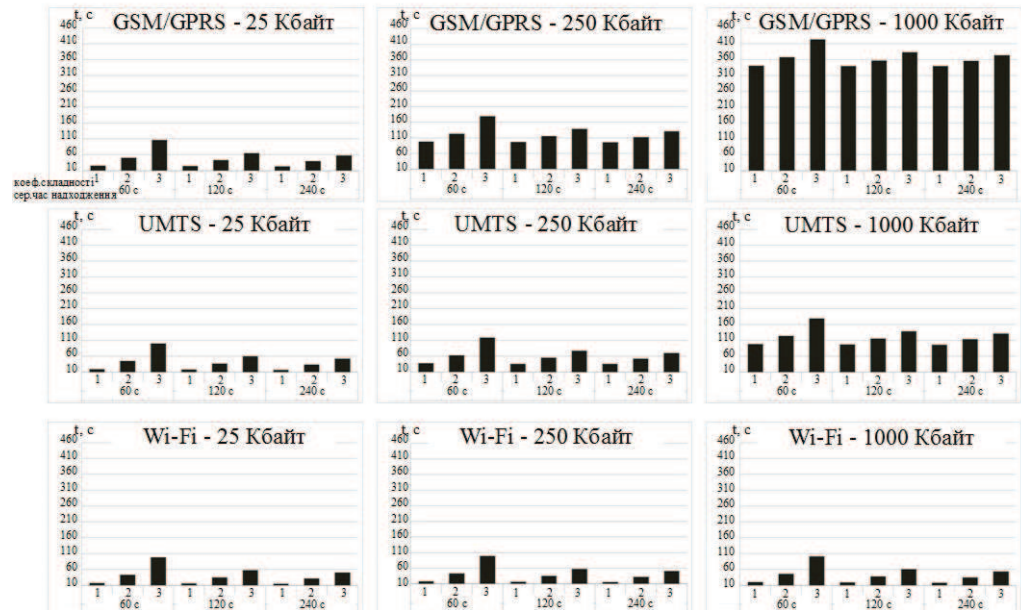


Рис. 4. Графіки залежностей часу завантаження для різних розмірів програмних модулів

7. Висновки

В результаті проведеного дослідження було синтезовано архітектуру, застосування якої дозволяє забезпечити можливість завантаження оновлень для великої кількості терміналів з одночасним підвищенням продуктивності мережі. Описана мережна архітектура узагальнює досвід роботи над мережами з можливістю реконфігуруватися і може використовуватись для стандартизації підходу до побудови таких систем.

Для розглянутої архітектури було розроблено процедуру завантаження програмного забезпечення, яка дозволяє швидко та ефективно забезпечувати мобільні пристрої новими програмними модулями. Розглянуто два випадки завантаження: процес може бути ініційовано мережею або користувачем/прикладною програмою.

Результати проведеного моделювання показали, що розміри програмних модулів, які будуть завантажуватися на термінал у випадку реконфігурації, а також складність запитів до серверу значно впливають на час обслуговування, а тому їх слід ретельно планувати, крім того, слід уникати ситуацій частого звернення до серверу. Приведений приклад моделювання засобами програмного продукту GPSS World може бути використаний при складанні вимог до розміру завантажуваних програмних модулів в залежності від швидкості передачі інформації, інтенсивності надходження звернень до сервера та обчислювальної складності запитів.

В подальших дослідженнях, розглянуті процедури завантаження більш деталізуватимуться та відобразатимуться на конкретні алгоритми функціонування мереж та обладнання з можливістю реконфігурації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Prasad R. *New Horizons in Mobile and Wireless Communications: Reconfigurability* / R. Prasad, A. Mihovska. — Boston : Artech House, 2009. — 354 p.
2. Bourse D. *Reconfigurable SDR Equipment and Supporting Networks Reference Models and Architectures* / N. Alonistioti, D. Bourse, S. Buljore, et al. // WWRF WG 3 white paper [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://wg6.wwrf.org/images/pdfs/WWRF_WG3_SDR_WhitePaper1_v2.0.pdf. — Дата доступу : 26.08.13. — Назва з екрана.
3. Demestichas P. *Policy-Based Management of Radio Resources and Autonomic Computing in Cognitive/Reconfigurable Networks and Systems* / G. Dimitrakopoulos, Y. Kritikou // WWRF WG 6 white paper [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/about_the_forum/WG/WG6/White%20Paper/WhPaper_WG6_PolBasedMngmtRRandAutonCompCognReconfNetsSys.pdf. — Дата доступу : 26.08.13. — Назва з екрана.
4. Dillinger M. *Network Architecture and Support Services for Reconfigurability* / M. Dillinger, P. Demestichas, N. Olaziregi, et al. // WWRF WG 6 white paper [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/about_the_forum/WG/WG6/White%20Paper/WG6_WP3.pdf. — Дата доступу : 26.08.13. — Назва з екрана.
5. Dillinger M. *Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions* / M. Dillinger, K. Madani, N. Alonistioti. — Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 2003. — 456 p.
6. SDRF-02-S-007-V1.0.0 : *Requirements for Radio Software Download for RF Reconfiguration* // SDR Technical Specification [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://groups.winnforum.org/d/do/2741>. — Дата доступу : 27.08.13. — Назва з екрана.
7. Buracchini E. *Over-The-Air software Download for Cognitive Networks* / E. Buracchini, M. Colonna, P. Goria, et al. // E2R II White Paper [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://ict-e3.eu/project/white_papers/e2r/8.E2RII_SWDL_White_Paper.pdf. — Дата доступу : 27.08.13. — Назва з екрана.
8. Jeyalakshmi V. *Secured Reconfigurable Software Defined Radio using OTA software download* / V. Jeyalakshmi, G. Vijayakumari // *Int. J. Advanced Networking and Applications*. — 2012, January. — Vol. 03, No. 4. — P. 1276–1280.
9. *Overview and Definition of Software Download for RF Reconfiguration* // SDR Forum document [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-02-P-0002-V1_0_0_DL-DFN.pdf. — Дата доступу : 27.08.13. — Назва з екрана.