

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕДУР ХЕНДОВЕРА В БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ, БАЗОВАНИХ НА ТЕХНОЛОГІЇ АТМ

Статтю присвячено питанням аналізу продуктивності мобільних комунікаційних мереж. Одним з основних чинників, які впливають на кількісні параметри продуктивності таких мереж, є процедура хендовера. У статті розглянуто механізм виконання процедури хендовера в бездротових мережах, що базуються на технології АТМ. Наведено класифікацію існуючих процедур хендовера та приклад стандартної сигнальної схеми, що описує процедуру хендовера як послідовність сигналів керування і даних. Коректність опису протоколу жорсткого зворотного хендовера перевірено за допомогою моделі мережі Петрі, аналітичним чином визначено затримки, пов'язані з виконанням процедури хендовера, та вимоги до буферів у вузлах мережі.

Вступ

За кілька останніх років одним з найголовніших успіхів в галузі телекомунікацій було широке розповсюдження стільникової мобільної телефонії та супутникових телекомунікаційних систем. Мультимедіа-потоки даних у таких системах є чутливими до затримок та втрат інформації при передаванні. Мобільні телекомунікації на сучасному етапі є одним з перспективних секторів економіки, який найбільш динамічно розвивається [1, 2]. Розвиток корпоративних мереж вимагає інтеграції мобільних та традиційних наземних телекомунікаційних мереж різноманітної архітектури. Відбувається конвергенція мобільних систем та інтелектуальних мереж (Intelligence Networks, IN). Тому проблема впровадження мобільних комунікаційних сис-

тем і розроблення програмно-інструментальних систем для визначення продуктивності таких систем є актуальною.

Поліпшення сервісу в мобільних телекомунікаційних системах пов'язано перш за все з використанням високошвидкісних мереж передавання даних. Одним з вирішень цієї проблеми є використання режиму асинхронного передавання АТМ в бездротовому фізичному середовищі, так званої радіо-АТМ мережі (WATM, wireless ATM), стандарти для яких розробляє консорціум Forum ATM. Як відомо, протоколи мережі АТМ забезпечують усі основні вимоги до параметрів якості передавання інформації QoS. У мобільному зв'язку і супутникових системах (наприклад, LEO-супутникових системах) проблеми забезпечення параметрів QoS безпосередньо залежать від реалізації механізму хендовера

(**handover**, або handoff) та механізму визначення місцезнаходження мобільного терміналу (визначення точних географічних координат).

Процедура хендвера - це перемикання каналів (зміна маршруту інформації) у випадку пересування мобільних абонентів через границю від однієї до іншої зони обслуговування [1].

У статті розглянуто проблему вибору типу механізму хендвера для стільникової мережі з передаванням мультимедіа-інформації. Цей вибір ґрунтується на створенні та подальшому дослідженні моделі хендвера. Виконана спроба розроблення на основі моделі процедури хендвера аналітичного підходу для оцінки продуктивності протоколів хендвера, які використовують буферну пам'ять у базовій станції. Запропоновані моделі дають змогу проектувальникам використовувати одночасно багато параметрів системи (розмір буфера для хендвера, нормальну й пікову швидкість передавання комірок в АТМ-з'єднанні, навантаження каналу, яке диктується терміналом, час, необхідний для того, щоб перевстановити з'єднання, тощо). Аналітичні передбачення продуктивності, отримані в результаті детальних експериментів моделювання, необхідні для того, щоб обґрунтувати вибір найбільш адекватного рішення реалізації механізму хендвера (апаратно чи програмно) в мобільних телекомунікаційних системах та для забезпечення параметрів QoS, яких вимагають кінцеві користувачі.

Тенденції зростання ролі мобільних систем для передавання інформації спостерігаються і в Україні. Наприклад, серед стільникових систем зв'язку в Україні найбільше застосовуються стандарти GSM900 та DCS1800, а також використовуються існуючі LEO-супутникові системи для передавання Internet-трафіка та створення послуг відеотелеконференцій, телемедицини тощо.

У мобільних системах одним з найважливіших є питання розробки протоколів механізму хендвера, в якому перемикання віртуальних з'єднань виконувались би без втрат даних за час цього процесу та без розривання з'єднання. Мультисервісні мережі, що базуються на технології передавання пакетів, зазвичай підтримують кілька типів процедур хендвера, класифікацію яких наведено нижче. Слід підкреслити, що від типу обраного протоколу хендвера значною мірою залежить як швидкість, так і якість передавання інформації в мережі. Це особливо важливо при поєднанні в мережі трафіків різних типів, наприклад мультимедіа і даних, з різними вимогами до кількісних параметрів функціонування мережі.

Однак існує ще багато невирішених проблем, пов'язаних з якістю та надійністю передавання

мультимедіа-трафіка, роль якого постійно зростає в сучасному світі [1, 2, 3].

Опис системи

Для забезпечення супутникового і стільникового зв'язку поверхня району, що обслуговується, розбивається на комірки (стільники) залежно від областей покриття антен базових станцій (БС) або супутників. Кожна така окрема область покриття має свою частоту, на якій ведеться передавання сигналів. Таким чином, при переміщенні мобільного терміналу (людина, автомобіль, поїзд, корабель, літак тощо) з однієї області впливу в іншу виникає необхідність у виконанні процедури хендвера, тобто в перемиканні встановленого з'єднання від однієї базової станції (старої БС) до іншої (нової БС).

Схематично архітектуру стільникової мережі можна подати так, як показано на рис. 1. У цій мережній архітектурі виділяють такі чотири типи вузлів:

- *базова станція (БС) (Base Station)* - точка доступу до стаціонарної (наземної) мережі;
- *мобільний термінал (МТ)* - вільно пересувається з однієї області, вкритої стільниковою мережею, до іншої (термінал, що пересувається від однієї БС до іншої, повинен видати запит хендвера для кожного із встановлених ним з'єднань);
- *комутатору (Ко) (End-User Mobility Supporting ATM Switch)* - є частиною стаціонарної мережі і підтримують функції мобільності та дозволяють, у разі необхідності, змінити маршрут з'єднання через вхідний або вихідний порт;
- *перехресні комутатору (ПКО) (Cross-Over Switch)* - забезпечують зв'язки між Ко, здійснюють передачу з'єднань та оновлюють таблиці маршрутизації.

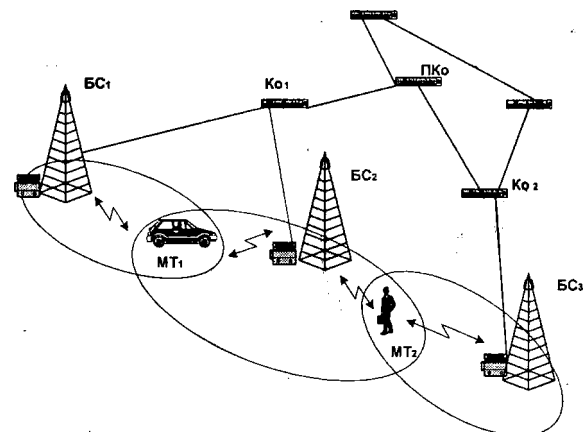


Рис. 1. Архітектура стільникової системи зв'язку

Кожна базова станція стаціонарно з'єднується з комутатором (switch), і передача інформації між ними здійснюється згідно з обраним у системі протоколом. Можна назвати дві основні причини виконання процедури хендвера:

1. Мобільна станція - абонент пересувається за межі сфери впливу антени, в якій він перебував раніше. При цьому рівень сигналу знижується і поступово досягає значення, яке є нижчим за мінімум, що необхідний для підтримки з'єднання. Або ж, у зв'язку з перешкодами, може зрости частота помилок, або відстань до антени може бути зовеликою і т. ін. Усі ці впливи можуть знизити якість радіозв'язку і в найближчому майбутньому унеможливити радіосередовище для передавання.

2. В наземній (дротовій) інфраструктурі цієї мережі часто приймається рішення, згідно з яким трафік з конкретної комірки (якщо він є зовеликим) «передається» до іншої, менш навантаженої, комірки. Таким чином, причиною хендвера може стати процес перерозподілу навантаження.

Процес виконання процедури хендвера ділиться на три стадії:

1. **Ініціювання**, коли користувач переміщується до іншої комірки або змінюються параметри самої мережі, що призводить до необхідності здійснити перемикання з одного каналу на інший.

2. **Генерування нового з'єднання**, коли мережа повинна виділити нові ресурси, щоб передати з'єднання і виконати, у разі необхідності, відповідну перемаршрутизацію.

3. **Контроль потоку даних**, коли доставка даних від старого маршруту (old path) з'єднання до нового (new path) підтримується відповідно до узгодження про гарантований рівень обслуговування.

Стадії процесу здійснення хендвера зображено на рис. 2.

Цю статтю присвячено дослідженню механізму хендвера, але у WATM існує ще багато процедур, пов'язаних із забезпеченням мобільності абонентів, таких як реєстрація, автентифікація, локалізація, пейджинг, процедури керу-

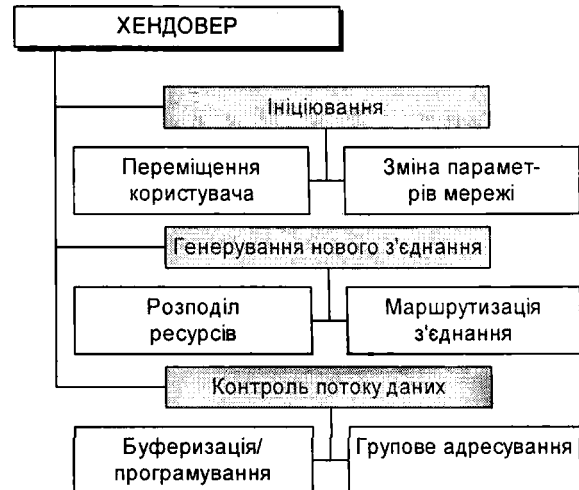


Рис. 2. Стадії виконання процедури хендвера

вання викликами, встановлення та розривання з'єднання. Архітектура мережі, що наведена вище, є узагальненою. Так, наприклад, ми не означили, де розміщені мобільні бази даних або які засоби забезпечують керування інформацією щодо мобільності на прикладному рівні. Це зумовлено тим, що процедура хендвера може бути застосованою в мережах з будь-якими сценаріями виконання решти вказаних процедур забезпечення мобільності.

Для забезпечення передавання інформації без суттєвих затримок і без втрат АТМ-комірок дані тимчасово зберігаються в буферах базових станцій, а також у комутаторах, перехресних комутаторах і навіть у самих мобільних терміналах.

Класифікація типів хендверів

Типи процедур хендвера можна розподілити за трьома основними показниками: кількість з'єднань, які може одночасно підтримувати мобільний термінал (1), напрямок (2), ініціатор (3). Класифікаційну схему наведено на рис. 3, детальніше типи хендверів описано в [2, 6, 7]. М'який прямий хендвер (soft handover) практично рідко застосовується. WATM не підтримує м'який хендвер, тому що за стандартом не дозволя-

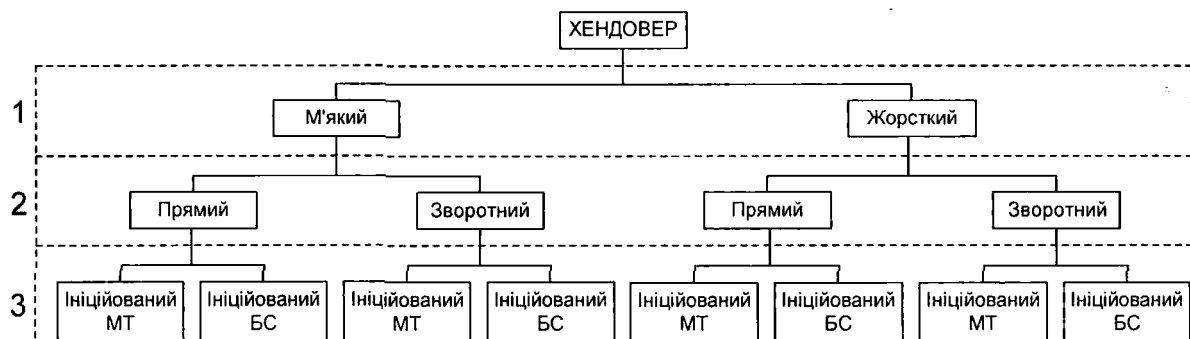


Рис. 3. Класифікація типів хендверів

ється бездротовому мобільному терміналу мати більш ніж одне радіоз'єднання одночасно. Як правило, м'який хендовер забезпечується системами, що базуються на CDMA, де кілька точок доступу можуть отримувати однакові сигнали одночасно. WATM підтримує одночасне з'єднання лише з однією точкою доступу в один момент часу. Тому для реалізації надійної системи потрібно вибрати таку процедуру хендовера, яка б дозволила уникнути розривів з'єднання під час перемикавання.

Різниця між прямим (forward handover) та зворотним хендовером (backward handover) полягає в тому, що в останньому з'єднання терміналу з базовою станцією розривається лише тоді, коли вже обрана нова станція і встановлено з'єднання, а у випадку прямого хендовера система раптово розриває старе з'єднання і намагається встановити нове. Перевага зворотного хендовера полягає в можливості вибору для встановлення з'єднання найбільш придатних параметрів мережі (характер трафіка, поточні ресурси і т. ін.) та базової станції (БС). При виконанні прямого хендовера нова базова станція не може резервувати ресурси заздалегідь, і тому є неможливим оптимальний вибір системи. У тому випадку, коли радіозавади розривають поточне з'єднання, прямий хендовер є єдиною можливістю достатньо швидко встановити нове з'єднання.

Таким чином, для того, щоб забезпечити мобільність для всіх можливих послуг у мульти-сервісних мережах з пакетною комутацією, необхідно передбачити підтримку кількох типів процедур хендовера.

Крім того, хендовер може відбуватись між базовими станціями, які під'єднані до одного комутатора, тоді хендовер є локальним, або, за термінологією ATM Forum, – Intra-EMAS-E хендовер [8, 9]. У випадку, коли станції під'єднані до різних комутаторів, – хендовер є глобальним, або Inter-EMAS-E.

Опис механізму хендовера стандартною сигнальною схемою (схемою обміну повідомленнями)

Протокол, який реалізує процедуру хендовера, зобразимо за допомогою традиційної сигнальної схеми, що ілюструє обмін повідомленнями всіх об'єктів – учасників цього процесу. Для стільникової системи зв'язку з WATM-протоколом ми обрали механізм глобального жорсткого зворотного хендовера, який ініціюється мобільним терміналом. Необхідно побудувати модель цього хендовера. На рис. 4 представлено адаптовану схему цього типу хендовера. Повну сигнальну схему цього та інших механізмів хендоверів де-

тально розглянуто у [2]. У жорсткому зворотному хендовері базові станції (БС) під'єднані до різних комутаторів, і для передачі з'єднання має бути задіяний перехресний комутатор (ПКо).

Розглянемо схему докладніше. Мобільний термінал ініціює процедуру хендовера, посылаючи своєму комутатору (К₀₁) повідомлення **ХО_Запит** (К₀₁ і визначає, що хендовер є глобальним). К₀₁ відсилає повідомлення **ХО_Ко_Запит** комутатору, до якого під'єднано цільову БС. Процедура знаходження відповідного К₀₂ залежить від схеми адресування базової станції. К₀₂, у свою чергу, перевіряє наявність необхідних ресурсів у цільових БС за допомогою двох повідомлень **БС_Інф_Зап** та **БС_Інф_Відп**. Залежно від отриманої інформації К₀₂ обирає кращу за показниками БС₂ і повідомляє про це К₀₁ з **ХО_Ко_Відп**. Після чого К₀₁ інформує МТ повідомленням **ХО_Відповідь** і скеровує повідомлення **ХО_Команда** до К₀₂, яке містить список з'єднань і вимоги до їх якості (QoS-вимоги), а також ПКо, що відповідатиме за перемаршрутизацію з'єднань. Тепер К₀₂ резервує ресурси БС₂, відправляючи повідомлення **БС_Рес_Зап** і отримуючи повідомлення **БС_Рес_Відп**. Якщо ресурси зарезервовано, К₀₂ відправляє повідомлення **Встановити_З'єднання** до свого ПКо (у разі, якщо адресу ПКо не було повідомлено К₀₁, К₀₂ мусить задіяти відповідні механізми для її визначення). ПКо встановлює з'єднання і повідомляє про це повідомленням **З'єднання_Встановлено**, а К₀₂ відсилає до К₀₁ повідомлення **ХО_Закінчення**, зазначаючи, що перемикавання з'єднання відбулось успішно. При цьому вимагається встановлення нових з'єднань для всіх з'єднань, які перераховано в повідомленні **ХО_Команда**, адже МТ може мати кілька активних з'єднань одночасно і для кожного з них має виконатись передача за допомогою повідомлень **Встановити_З'єднання** і **З'єднання_Встановлено** і повідомлення підтвердження **ХО_Закінчення**.

Після отримання останнього повідомлення **ХО_Закінчення** (тобто повідомлення про хендовер останнього з активних з'єднань) К₀₁ відсилає повідомлення **ХО_Відключення** до МТ. Це повідомлення інформує МТ, що можна розірвати з'єднання з БС₁. БС₁ повідомляє про розірвання повідомленням з **БС_Роз_Зап**, і К₀₁ відповідає повідомленням **БС_Роз_Підтв**. Таким чином, ресурси БС₁ звільнено.

Тепер БС₁ може розірвати всі активні з'єднання з ПКо. Це робиться для кожного із з'єднань, відсилаючи повідомлення **Розірвати_З'єднання** і отримуючи від ПКо повідомлення **З'єднання_Розірвано**. За час розірвання старих з'єднань ПКо перемикає їх до щойно

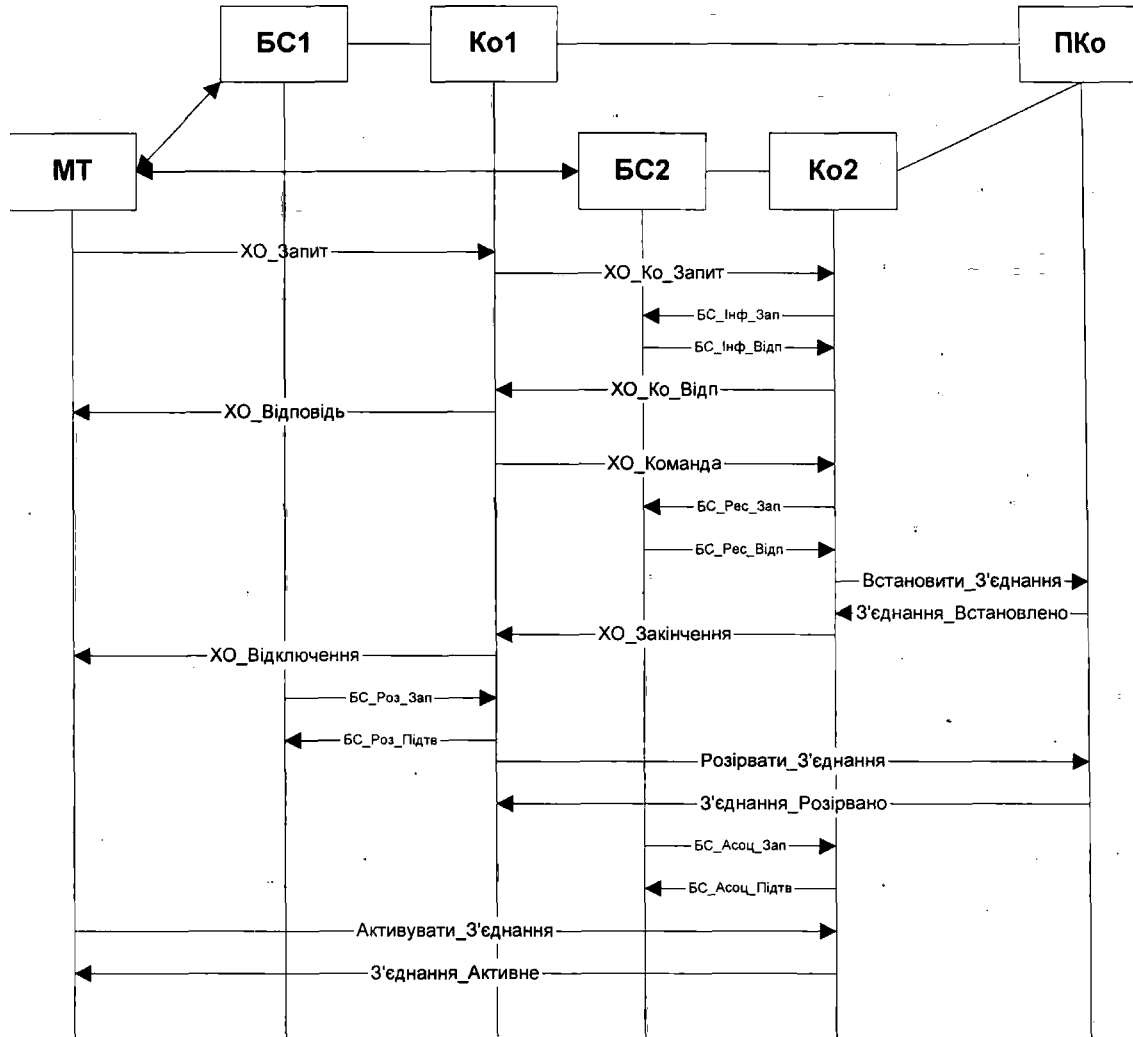


Рис. 4. Сигнальна схема глобального жорсткого зворотного хендвера, який ініційовано мобільним терміналом:

BC₁ — станція, до якої під'єднано мобільний термінал (MT) на початку процедури хендвера; BC₂ — цільова базова станція (станція отримувача даних); Ko₁ і Ko₂ — початковий та цільовий комутатори відповідно

встановлених. Асоціація MT з новою BC відбувається за допомогою повідомлень **BC_Асоц_Зап** і **BC_Асоц_Підтв** між новими BC і Ko. Повідомленням **Активувати_З'єднання** MT сигналізує про готовність отримувати дані з нового з'єднання, на що Ko₂ відповідає **З'єднання_Активне**, і процедура хендвера закінчується.

Сигнальна схема на рис. 4 не враховує помилок, що можуть виникнути під час процедури хендвера, таких як неможливість встановлення з'єднання між Ko₂ і ПКo, коли відправляється повідомлення **XO_Помилка** до Ko₁. Детальний розгляд усіх таких випадків значно ускладнив би схему і майбутню модель. Крім того, схема не враховує поведінки потоків даних (uplink/downlink, висхідний/низхідний), а також буферів для тимчасового зберігання даних у BC, хоч вони суттєво впливають на показники затримки при виконанні процедури хендвера.

Побудова моделі мережі Петрі

Найпридатнішим і найпоширенішим методом перевірки (верифікації) протоколу є апарат мережі Петрі, який докладно описано у [4, 5]. Модель процедури хендвера на основі мережі Петрі побудовано з використанням сигнальної схеми (див. рис. 4), у даному випадку сигнальної схеми глобального жорсткого зворотного хендвера, ініційованого мобільним терміналом.

При побудові моделі зроблено такі припущення:

- адресу ПКo, яка відповідає за хендвер з'єднання, Ko₁ повідомляє Ko₂ з повідомленням **XO_Команда**, і при цьому не задіюється ніяких додаткових механізмів для визначення цієї адреси;
- MT має два активних з'єднання одночасно: висхідний і низхідний канали передавання даних (uplink/downlink).

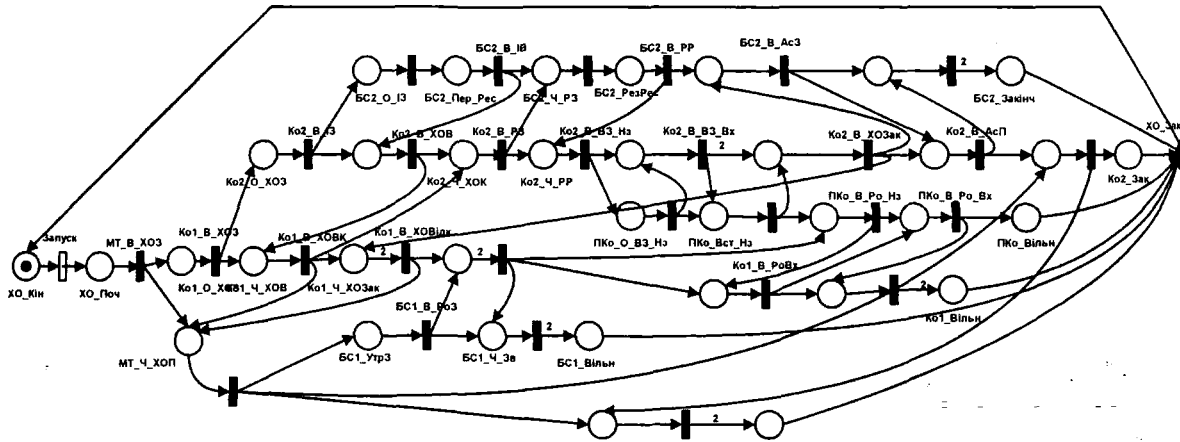


Рис. 5. Модель мережі Петрі жорсткого зворотного хендовера, який ініційовано мобільним терміналом.

Мережа Петрі (рис. 5) відповідає фазі взаємодії між двома процедурами хендоверів. Вузли мережі названо таким чином, щоб вони відображали потік службових повідомлень сигнальної схеми. Позиції описують стани елементів системи, а переходи - події, які змінюють стани елементів системи, причому значна частина переходів є миттєвими (чорні прямокутники), а деякі з переходів пов'язані з затримками й позначені порожніми прямокутниками.

При початковому маркуванні графа доступним (тобто таким, що може спрацювати) є лише один перехід, який відповідає початку події ініціації нового хендовера. У наведеній моделі жодному з вузлів не надано часових затримок. Це означає, що такий опис протоколу є коректним при будь-якій можливій послідовності подій, тобто при всіх можливих комбінаціях спрацювання переходів із затримками, що визначені як детермінованим, так і стохастичним чином.

Аналіз властивостей поведінки системи виконано на основі моделі мережі Петрі і проведено за допомогою побудови дерева досяжності [4, 5]. При цьому система має 86 можливих станів, тобто маркувань, досяжних з початкової, і жодна з яких не призводить до блокування графа. Таким чином, протокол хендовера виконається за скінченну кількість кроків, і система завжди може повернутися до свого початкового стану після обміну певною кількістю повідомлень.

Аналіз затримок і вимог до буфера

Розглянуто аналітичний метод для виведення оцінки максимальної затримки, пов'язаної з виконанням процедури хендовера в мобільній мережі. Ця затримка, в свою чергу, є обґрунтованим для визначення вимог до розмірів буфера при виконанні однієї процедури хендовера в БС. Аналіз подано, як і в попередніх частинах,

для випадку глобального жорсткого зворотного хендовера, який ініційований мобільним терміналом. Метод є загальним і може бути застосований до будь-якої схеми виконання процедури хендовера з невеликими змінами, пов'язаними з різними сигнальними схемами.

Основною метою аналізу є розроблення методу розрахунків, для кожного з розглянутих буферів, інтервалу часу, протягом якого буфери, що беруть участь у перенаправленні з'єднання, будуть заповнені й потім вивільнені. Показник максимального зайняття буфера η виведений на основі диференційного потоку АТМ-комірок, розмішених у буфері, що розглядається. Індексом v, n, d позначено Верхній, Нижній та Допоміжний буфери відповідно, верхні індекси $1, 2$ означають відповідно першу й другу базові станції. Усі показники, які використані в аналізі, наведено в табл. 1.

Згідно з сигнальною схемою, момент часу d_0 в МТ означає відсилання повідомлення до БС₁ про початок ініціації хендовера. БС₁ визначає ПКО у проміжок часу $[\tau_1, \tau_2]$, і як тільки підтверджено намір здійснити хендовер, К0₁ перериває передавання нижнього потоку комірок, натомість зберігаючи їх у нижньому буфері до моменту часу d_2 , тобто до початку звільнення буфера. Таким чином, комірки зберігаються в буфері протягом проміжку часу:

$$I_{[d_0, d_2]}^1 = T_n + \xi_{ХОЗ} + D_1 + D'_1 + D_2 + D'_2 + \gamma_{БС} + 2\gamma_{К0} + \gamma_{ПК0} + T_{ОНТ} + T_{ПК0}. \quad (1)$$

Припускаючи, що $\gamma_{БС}$, $\gamma_{К0}$, $\gamma_{ПК0}$ є настільки малими, що їх можна не враховувати, отримаємо:

$$I_{[d_0, d_2]}^1 = T_n + \xi_{ХОЗ} + D_1 + D'_1 + D_2 + D'_2 + T_{ОНТ} + T_{ПК0}. \quad (2)$$

Таблиця 1. Параметри, які використані в аналізі

PCR, SCR	Пікове та придатне число ATM-комірок у VBR-з'єднанні
AVCR	Число ATM-комірок у допоміжному ВК
L_0	Середнє запропоноване завантаження з'єднання
T_n	Затримка при передаванні ATM-комірок через радіоз'єднання
$T_{онт}$	Час, необхідний для оновлення таблиці маршрутизації у ПКo
$T_{пко}$	Час, потрібний для визначення адреси ПКo
$\gamma_{SCR}, \gamma_{PCR}, \gamma_{AVCR}$	Інтервали часу між двома послідовними передаваннями ATM-комірок у SCR, PCR, AVCR відповідно
$\gamma_{BC}, \gamma_{Ko}, \gamma_{ПКo}$	Затримки при обробленні службових повідомлень у BC, Ko і ПКo
$\xi_{ХОЗ}, \xi_{ЗВх}, \xi_{ХОП}$	Час між генеруванням/прийманням службових повідомлень
D_i, D'_i	Затримка передавання ATM-комірок між BC та Ko і між Ko та ПКo

Примітка: PCR (Peak Cell Rate) – пікова швидкість передавання ATM-комірок, SCR (Sustainable Cell Rate) – нормальна швидкість передавання ATM-комірок, AVCR (Auxiliary Virtual Connection Cell Rate) – швидкість передавання ATM-комірок у допоміжному віртуальному з'єднанні.

Максимальне число комірок, що можуть зберігатися в буфері нижнього потоку в BC₁, таке:

$$\eta_H^1 = \frac{I_{[d_0, d_2]}^1 L_0}{424}, \quad (3)$$

де 424 – це кількість бітів (53 байти) в ATM-комірці. З моменту часу d_2 BC₁ починає передавати комірки до BC₂ по AVCR. Таким чином, час, необхідний для звільнення буфера:

$$I_{[d_2, d_3]}^1 = \eta_H^1 \tau_{AVCR}. \quad (4)$$

Тоді весь час заняття буфера в BC₁ такий:

$$I_H^1 = I_{[d_0, d_1]}^1 + I_{[d_2, d_3]}^1. \quad (5)$$

Передавання комірок з BC₁ до BC₂ відбувається через PCR. Якщо AVCR > PCR, тоді комірки зберігаються в допоміжному нижньому буфері у BC₂; в іншому випадку комірки прямують через цей буфер без затримки. Час, який потрібен для доставки всіх комірок, що надходять з BC₁, такий:

$$I_D^1 = (\eta_H^1 + 1) \tau_{PCR}, \quad (6)$$

де додано 1 для врахування комірки, яка використовується для службового повідомлення. Максимальна кількість комірок, що зберігаються в допоміжному нижньому буфері,

$$\eta_D^2 = \frac{\eta_H^1 + 1}{AVCR} (AVCR - PCR). \quad (7)$$

Комірки, що надходять до МТ ззовні і проходять крізь ПКo до BC₂, не можуть бути переданими до МТ доти, доки не припиниться потік комірок з BC₁. Якщо взяти до уваги передавання комірок через висхідний потік і не зважати на час, необхідний на їх обробку, то інтервал

нагромадження комірок у нижньому буфері BC₂ буде таким:

$$\begin{aligned} I_{[\delta_5, \delta_8]}^2 &= D_1 + D'_1 - D_2 - D'_2 + D_1 + D'_1 + D_2 + \\ &+ D'_2 + 2\gamma_{BC} + 2\gamma_{Ko} + \gamma_{ПКo} + I_A^2 + \tau_{AVCR} = \\ &= 2(D_1 + D'_1) + I_A^2 + \tau_{AVCR}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для низхідного потоку час використання буфера в BC₂:

$$\eta_H^2 = \frac{I_{[\delta_5, \delta_8]}^2 L_0}{424}. \quad (9)$$

Оскільки з моменту часу δ_8 комірки, що зберігалися в буфері нижнього потоку BC₂, передаються до МТ через PCR, а дані надходять зовні до BC₂ з показником L_0 , то загальний час використання нижнього буфера такий:

$$I_H^2 = I_{[\delta_5, \delta_8]}^2 + \frac{\eta_H^2}{(PCR - L_0)}. \quad (10)$$

Згідно із сигнальною схемою і без урахування часу обробки службових повідомлень, час, протягом якого комірки зберігаються у верхньому буфері й не можуть передаватись через ПКo, визначається таким чином:

$$\begin{aligned} I_{[\delta_6, \delta_{10}]}^2 &= I_D^2 + D_1 + D'_1 + D_2 + D'_2 + T_{онт} + \\ &+ 2\tau_{AVCR} - 2T_n - \xi_{ЗВх} - \xi_{ХОП}. \end{aligned} \quad (11)$$

Максимальна кількість комірок, які зберігаються у верхньому буфері, виводиться з урахуванням того, що в інтервалі $[\delta_6, \delta_8]$ буфер наповнюється МТ з показником SCR:

$$\eta_B^2 = \frac{I_{[\delta_6, \delta_{10}]}^2}{\tau_{SCR} \cdot 424}. \quad (12)$$

Після моменту часу δ_{10} БС₂ починає звільняти верхній буфер з PCR, таким чином цей буфер використовується під час хендовера:

$$I_B^2 = I_{[\delta_6, \delta_{10}]}^2 + \frac{\eta_B^2}{(PCR - SCR)}. \quad (13)$$

Підсумково, зважаючи на те, що час обробки службових повідомлень дуже малий, виводимо загальну затримку, пов'язану з процедурою хендовера:

$$\Delta_{ХО} = \xi_{ХОЗ} + T_n + T_{ПКО} + 2T_{ОНТ} + 2(D_2 + D_2') + I_{[d_3, d_4]}^1 + 2\tau_{AVCR} + 3(D_1 + D_1'). \quad (14)$$

Таким чином, як видно з (14), загальна затримка, пов'язана з виконанням процедури хендовера, залежить лише від суми затримок передавання даних між базовими станціями і перехресним комутатором.

Висновки

У цій статті вирішується проблема вибору механізму хендовера для стільникової мережі передавання мультимедіа інформації на основі створення і подальшого дослідження графової моделі хендовера. Для стільникової мережі передавання даних обрано процедуру глобального жорсткого зворотного хендовера, яка найбільше задовольняє показники QoS для локальних областей використання. Кількісні характеристики продуктивності мобільної комунікаційної системи (пропускна здатність, затримка пакетів, варіація затримки) визначаються на основі моделі мережі Петрі з використанням розроблених алгоритмів обчислення [10]. На основі представленого аналітичного підходу та з використанням моделі хендовера на базі мереж Петрі використано алгоритми для розрахунку оцінки продуктивності протоколів хендовера (затрим-

ки передавання АТМ-комірок) у таких мережах та обчислено розміри буферів пам'яті, які запобігають втратам інформації. Інші параметри QoS (варіація затримки, допуски затримок, коефіцієнт втрат при передаванні), які важливі для аудіо- та відеоінформації, є завданням подальших досліджень. Крім того, подальшого дослідження вимагає проблема, пов'язана з втратами інформації в мережі АТМ, проблема змішування комірок при їх передаванні віртуальними каналами та проблема дублювання комірок. Ці проблеми призводять до неправильної інтерпретації інформації в кінцевому пункті, порушення цілісності інформації та її спотворення.

Наголошено, що загальна затримка при передаванні даних пов'язана з виконанням процедури хендовера і у вибраній системі залежить від сум затримок передавання даних між базовими станціями та перехресним комутатором (Cross-Over Switch).

Методика розрахунків може використовуватись як для різних типів хендоверів, так і для різних типів мобільних мереж стільникових, транкінгових чи супутникових.

Передбачення продуктивності системи або такі попередні розрахунки продуктивності необхідні на етапі передпроектних досліджень. Вони дають змогу проектувальникам обґрунтувати методи реалізації процедур хендовера та інших систем, що впливають на продуктивність (системи місцезнаходження абонентів, систем керування тощо), а також обґрунтувати вибір програмно-апаратних компонент (комутаторів, цифрових каналів, серверного обладнання тощо) для мереж, що проектуються. Подальшою роботою в цьому напрямку є робота зі створення інструментального програмно-технологічного комплексу для автоматизації задач аналізу продуктивності мереж.

1. Невдяев Л. М. Мобильная связь 3-го поколения // Серия изданий «Связь и бизнес». – Москва.
2. Dr. Jochen Schiller. Mobile Communications. – Addison Wesley. – 2000. – 416 p.
3. Marsan M. A., Chiasserini C.-F., Fumagalli A. Performance Models of Handover Protocols and Buffering Policies in Mobile Wireless ATM Networks // IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 50, № 4, July 2001, p. 925–941.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984.
5. Мурата Т. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения / ТИИЭР. – Т. 77. – № 4. – апрель, 1989.
6. ATM-Sat Project: ATM-Based Multimedia Communication via LEO-Satellites System Architecture Report // GMD FOKUS Berlin, 2000 – P. 136.

7. Gladun A., Tittel C. Handover and Location Management in LEO Constellations // ATM-Sat Workshop '2000, Oberpfaffenhofen, Germany, December 12, 2000
8. ATM-Forum Standard AF-PNNI-0055.000: Private Network-Network Interface Specification Version 1.0 (PNNI 1.0). 1996.
9. ATM-Forum Standard AF-SIG-0061.000: ATM User-Network Interface (UNI) Signalling Specification Version 4.0. 1996.
10. Gritsenko V. I., Gladun A. Ja. On Application of Temporal and Stochastic Petri Nets to Problem of Performance Evaluation in High-Speed Communication Networks / Cybernetics and Computing Technology, Complex Control Systems, Allerton Press Inc., New York, 1997, p. 110–117 (in English).

A. Ya. Gladun, O. I. Protsenko

THE ANALYSIS OF MODELS OF PROCEDURES HANDOVER IN WIRELESS NETWORKS BASING ON THE TECHNOLOGY ATM

The technique of handover procedure in wireless ATM networks is discussed in this paper. The handover procedure classification is introduced and signalling diagram is exemplified for one of protocol types. Protocol definition correctness for hard backward handover is examined with Petri Net model, furthermore paper presents the results of performed analysis of time delay and buffer requirements.