

ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 621.396.74

С.О. Кравчук

МОДЕЛЬ ПРЯМОГО КАНАЛУ СИСТЕМИ ШИРОКОСМУГОВОГО РАДІОДОСТУПУ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ПОСЛУГАМИ ГА- РАНТОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ

Вступ

Останнім часом Інтернет пережив феноменальний ріст, що зробило проблему “останньої милі” для надання Інтернет-послуг ще більш актуальною. Одним із найбільш перспективних рішень цієї проблеми є безпроводові мережі і, особливо, системи широкопasmового радіодоступу (СШР) [1]. Однак важливою властивістю будь-якої безпроводової системи є сильна залежність її параметрів від атмосферних явищ на радіотрасі і ряду інших факторів, особливо, багатопроменевого поширення. Тому в безпроводовому каналі радіосистеми можлива наявність досить високого коефіцієнта бітових помилок BER (Bit Error Rate), що дуже ускладнює реалізацію механізму підтримки якості надання послуг QoS (Quality of Service).

Крім безпроводового доступу, ще однією з найважливіших сфер розвитку Інтернету є пошук структури, яка підтримує кращий QoS, ніж існуючий нині сервіс найкращої можливої передачі (Best Effort Service). У цьому зв'язку проблемною групою проектування Інтернет IETF (Internet Engineering Task Force) було запропоновано модель диференційованого сервісу (ДС), який орієнтований на сукупний трафік і не потребує підтримки визначеного стану кожного потоку на ключових маршрутизаторах.

Мета впровадження і розвитку ДС полягає в забезпеченні диференційованими послугами трафіку Інтернет з можливістю підтримки різних типів додатків і визначених бізнес-вимог. ДС пропонує передачу трафіку з передбачуваними параметрами (затримкою, пропускнуною спроможністю, втратами пакетів і т.д.). Розходження між наданням інтегрованих і диференційованих послуг у тому, що при введенні ДС забезпечується масштабований сервісний поділ без необхідності виділення потоків і проведення сигналізації при кожному переході. Тому немає необхідності проводити унікальне резервування параметрів QoS для кожного потоку.

При роботі з ДС трафік Інтернету розбивають на різні класи з різними вимогами до QoS.

Грунтуючись на згаданих вище тенденціях, дослідники визначили інтеграцію безпроводових систем і ДС як перспективний напрямок досліджень. Наприклад, у працях [2, 3] з метою забезпечення QoS у безпроводовому середовищі було модифіковано заснований на класах алгоритм масового обслуговування, а на його базі проведено імітацію використання ДС. Однак нам не відомі праці, що описують аналітичну модель ДС у безпроводових каналах.

Постановка задачі

Метою даної статті є формулювання спрощеної аналітичної моделі можливості гарантованої передачі через прямий радіоканал СШР у рамках ДС в припущенні про повільні завмирання в каналі і використання методу випадкового раннього виявлення RED (Random Early Detection) для керування чергою вхідних (вх) і вихідних (вих) пакетів RIO (RED Input/Output).

Особливості моделювання гарантованої передачі в рамках диференційованих послуг

На відміну від інтегрованих послуг [4] диференційовані послуги надають довгострокові гарантії QoS у тому розумінні, що відповідні параметри на маршрутизаторах не відкидаються через деякий час. Це означає, що додаткам, які використовують ДС, не потрібно резервувати параметри QoS для визначених пакетів даних. Весь трафік, який передається через мережі, що підтримують ДС, використовуватиме заздалегідь надані йому параметри QoS. Але при цьому всі пакети даних мають бути відмічені певним полем, яке повинне інтерпретуватися маршрутизаторами в мережі.

Модель ДС, запропонована IETF, має забезпечувати масштабовану диференціацію сервісу в Інтернет. Архітектура ДС складається з великої кількості функціональних елементів, а саме класифікаторів пакетів, формувачів трафіку і режимів “на переході” РНВ (Per-Hop Behaviours). Режим РНВ визначає пріоритет і максимальну затримку в черзі повідомлень, що передається, ширину пропускнуною здатності при поділі каналу між з'єднаннями й імовірність втрати пакета.

Для надання передбачуваних послуг набір режимів РНВ повинен підтримуватися всіма

маршрутизаторами в мережі з диференційованими послугами. Режим PNB може визначатися набором певних функцій і параметрів, використовуваних маршрутизатором для надання саме тих послуг, які визначені для нього режимом PNB. Цей режим також може бути заданий безліччю окремих черг з установленими пріоритетами, визначеними параметрами черг і алгоритмів скидання пакетів у зв'язку з пріоритетами чи "вагою".

Крім прийнятого за замовчуванням типу PNB, існують ще два його підтипи, а саме PNB термінової передачі EF (Expedited Forwarding) і PNB гарантованої передачі AF (Assured Forwarding). EF PNB є високопріоритетним режимом, використовуваним звичайно для трафіку даних контролю мережі, таких, як відновлення маршрутизації, AF же передає пакети за допомогою деяких призначених рівнів ресурсів формування черги і трьох пріоритетів відкидання пакета. Визначено чотири незалежних класи AF. У даній статті увага приділена саме AF PNB.

Спрощена модель AF наведена в [5]. У цій моделі пакети класифіковані двома рівнями черговості пріоритетів ("вх" і "вих") у вузлах мережі залежно від того, чи відповідає користувач призначеному профілю пропускної здатності чи ні. Якщо виникає перевантаження каналу, то пакети на виході (вих) відкидаються з більш високою ймовірністю, ніж вхідні (вх), і в такий спосіб захищається QoS вхідного трафіку (вх). Ця операція здійснюється схемою керування чергою RIO, яка застосовує алгоритм випадкового раннього виявлення RED [6].

Алгоритм RED випадково відкидає пакети, що залежать від їх кількості в черзі на інтерфейсі. В міру того як обсяг заповнюваної черги наближається до свого максимуму, RED починає скидати пакети більш агресивно, щоб відійти від процедури "скидання хвоста". Таким чином, замість відкидання всіх нових пакетів при заповненні черги відбувається керування довжиною черги за допомогою випадкового скидання деяких пакетів. При втраті пакета додаток, якому цей пакет належав, знижує швидкість потоку TCP і починає процедуру повільного старту. Такий взаємозв'язок допомагає згладити "стрибки" трафіку і підвищує загальну продуктивність системи.

Цілком підтримуючи стратегію надання якості обслуговування, RED у першу чергу скидає низькопріоритетні пакети. Виявлення пріоритетів пакетів здійснюється на основі вмісту

поля TOS заголовка дейтаграми IP. Таким чином, додатки, що генерують високопріоритетний трафік, будуть менше "потерпати" від втрати пакетів. Зрозуміло, що значно скоротиться число повільних стартів. Досягнення необхідної якості обслуговування виконується механізмом RED за допомогою варіювання довжини черг, причому для кожного рівня пріоритету використовується індивідуальна границя довжини черги. В міру заповнення черги і перевищення границі її довжини рівень пріоритету, асоційований з цією границею, починає наближатися до рівня, при якому можливе випадкове скидання пакетів. Відповідно, високий рівень пріоритету суміщається з більш високим граничним значенням.

У схемі RIO є три основних параметри відповідно для вхідних і вихідних пакетів: мінімальний поріг $\Pi_{\min}^{\text{вх}}$ і $\Pi_{\min}^{\text{вих}}$, максимальний поріг $\Pi_{\max}^{\text{вх}}$ і $\Pi_{\max}^{\text{вих}}$, імовірність відкидання пакета. Якщо в місці надходження пакета довжина черги дорівнює n , то імовірність залучення пакета в чергу становитиме

$$\eta(n) = p\eta^{\text{вх}}(n) + \bar{p}\eta^{\text{вих}}(n), \quad (1)$$

де p – імовірність того, що даний пакет є вхідним, а $\bar{p} = 1 - p$ – імовірність того, що пакет вихідний; $\eta^{\text{вх}}(n)$ і $\eta^{\text{вих}}(n)$ – імовірності залучення вхідних і вихідних пакетів у чергу. Тоді, виходячи з особливостей RIO, можна записати в лінійному наближенні

$$\begin{aligned} \eta^i(n) &= 1 \quad \text{для } n \leq \Pi_{\min}^i, \\ \eta^i(n) &= 0 \quad \text{для } \Pi_{\max}^i < n, \\ \eta^i(n) &= 1 - \frac{p^i(n - \Pi_{\min}^i)}{\Pi_{\max}^i - \Pi_{\min}^i} \quad \text{для } \Pi_{\min}^i < n \leq \Pi_{\max}^i, \end{aligned} \quad (2)$$

де i – індекс, що набуває значень "вх" чи "вих"; p^i – імовірність відкидання пакетів при Π_{\max}^i .

Опис моделі

Модель ДС для безпроводового середовища може бути зображена структурною схемою, що наведена на рис. 1. У цій структурі множина абонентських терміналів (АТ) з'єднана з базовою станцією (БС) через загальний радіоінтерфейс (рис. 1,а). БС і АТ обмінюються паке-

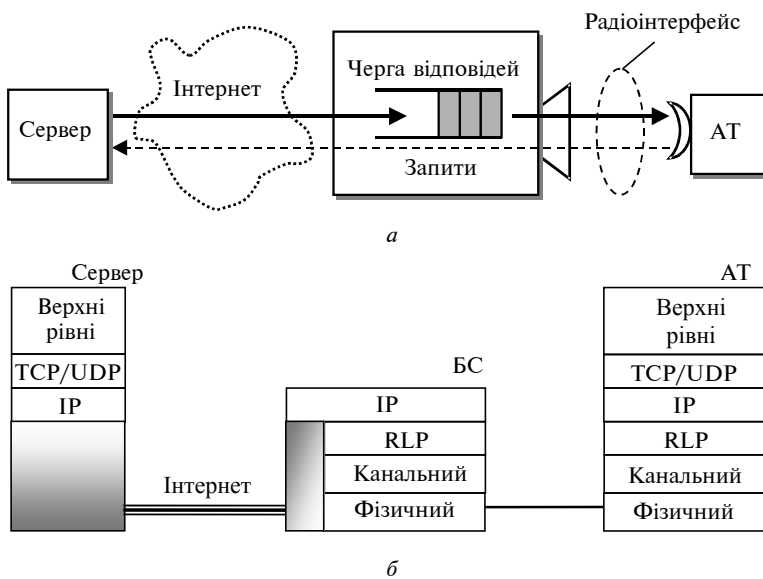


Рис. 1. Архітектура мережі

тами за спеціальними протоколами нижнього рівня, що використовують спеціальні механізми для мінімізації ступеня помилки пакетів безпроводової системи. У той же час на IP-рівні має бути реалізована можливість надання ДС (рис. 1, б).

Розглянемо параметри обслуговування черг у системі, виходячи із запропонованої структури мережі. Більшість СШР припускають використання асиметричного трафіку, бо параметри зворотного каналу не настільки критичні, як прямого. Це пов'язано з тим, що черга пакетів зворотного каналу вихідної лінії зв'язку містить тільки власні пакети АТ, а їх кількість порівняно невелика відносно прямого каналу спадної лінії зв'язку.

Тому зосередимося тільки на розгляді черги, формованої на БС у спадному напрямку, куди від різних віддалених серверів надходять значні обсяги трафіку, що попадає в чергу планувальника БС раніше, ніж його встигають розподілити між АТ. Для спрощення моделювання ДС RIO припускаємо, що пакети з'являються в черзі відповідно до пуассонівського потоку з параметром λ . Пакет буде вхідним з імовірністю p і вихідним — з імовірністю $\bar{p} = 1 - p$. Потоки вхідних і вихідних пакетів також будуть пуассонівськими з параметрами $p\lambda$ і $\bar{p}\lambda$, відповідно.

Хоча і вважається, що інтенсивність обслуговування черги розподілена експоненціально, моделювання розглянутої системи відрізняється від моделювання аналогічної проводової

через необхідність врахування характеристик безпроводового з'єднання і використовуваних при цьому механізмів автоматичного запиту повторної передачі ARQ (Automatic Repeat Request) і прямої корекції помилок FEC (Forward Error Correction).

У даній статті нестабільність безпроводового каналу описується моделлю джерела помилок Гільберта, яка заснована на застосуванні математичного апарату марковських ланцюгів і часто використовується при дослідженні параметрів безпроводового зв'язку, особливо в каналах із повільними завмираннями [7]. Відповідно до цієї моделі канал може перебувати у двох станах — доброму (стан 1) і поганому (стан 2). Коефіцієнт BER у стані 1 і 2 позначається відповідно як p_{e1} і p_{e2}

($p_{e1} \ll p_{e2}$). Тривалість 1-го і 2-го станів розподілена експоненціально із середніми значеннями $1/\delta$ і $1/\gamma$, відповідно.

Для розв'язання задачі підтримки необхідного QoS використовуються наскрізні служби-носії, що за допомогою протоколів другого і третього рівнів моделі взаємодії відкритих систем (ВВС) забезпечують корекцію помилок і керування потоком. Такі служби поєднують наскрізні служби-носії до протоколу радіоканалу RLP (Radio Link Protocol) [8, 9], який вміщує в себе всі механізми високорівневого протоколу керування каналом HDLC (High-level Data Link Control) [4], і спеціальні механізми вибіркового відмовлень, необхідних для повторної передачі помилкових даних. При цьому можна домогтися, щоб частота появи помилок не перевищувала 10^{-7} , однак пропускна спроможність і затримки можуть змінюватися залежно від якості передачі.

У нашій моделі RLP розміщений між каналним рівнем і IP-рівнем. Протокол RLP може підтримувати сервіси сегментації і переконструювання IP-дейтаграм. У протоколі використовуються два класи механізмів виправлення помилок: ARQ і FEC [10]. Механізм ARQ забезпечує виправлення помилок за допомогою виявлення їх та повторної передачі пакетів і застосовується для повідомлень із необхідною високою надійністю. Однак у випадку доставки трафіку, чутливого до затримок, такого, наприклад, як голосовий трафік, ARQ може, в принципі, погіршити параметри через чекання

повторної передачі. Також ARQ може виявитися неприйнятним з таких причин:

- зворотний канал недоступний чи затримка при використанні ARQ занадто велика;
- алгоритм повторної передачі не можна реалізувати зручним способом.

У цьому зв'язку часто замість ARQ на фізичному рівні застосовується FEC. При цьому в потік даних код вносить надлишкову інформацію, яка при виникненні помилок передачі використовується для відновлення вихідних даних. Таким чином, FEC поліпшує стійкість передачі за допомогою збільшення ступеня надірності коду.

Останні дослідження [11] показали, що дуже ефективним підходом є гібрид ARQ/FEC.

Аналітично описати точне поведіння ARQ і FEC – досить складна задача. Щоб розв'язати її, моделюється тільки стаціонарне поведіння ARQ і FEC. Параметри механізму FEC залежать від його кодової швидкості (ступеня кодування).

Оскільки в пакеті довжиною l біт міститься m біт ($m < l$) корисної інформації, кодова швидкість FEC становить $r = m/l$. Тоді досяжна швидкість обслуговування FEC обчислюється за формулою

$$v_e = rv = mv/l,$$

де v – пропускна спроможність безпроводового каналу (біт/с).

Виходячи з того, що FEC-код може виправляти до τ помилкових біт і що для даного стану каналу бітові помилки незалежні, то імовірність того, що пакет буде містити помилки, які не виправляються, визначається співвідношенням [12]

$$P(p_b, \tau) = \sum_{j=\tau+1}^l \binom{l}{j} p_b^j (1-p_b)^{l-j},$$

де p_b – імовірність помилки на біт станів 1 чи 2, причому $p_b \in \{p_{e1}, p_{e2}\}$. Тоді імовірності станів 1 і 2 відповідно становитимуть

$$P_1 = P(p_{e1}, \tau), P_2 = P(p_{e2}, \tau).$$

В ARQ пакет передається повторно доти, поки на приймальному кінці він не буде отриманий без помилок або буде перевищений ліміт на кількість повторних передач. Нехай N_t – кількість повторних передач, поки пакет не буде отриманий без помилок або не загубиться через перевищення допустимої кількості пов-

торних передач. Математичне сподівання середнього значення загальної кількості передач обчислюється в такий спосіб [13]:

$$M[N_t] = \frac{1-P^N}{1-P},$$

де N – максимальна кількість повторних передач, зумовлена часовим обмеженням; P – імовірність того, що пакет містить помилки, які не виправляються, і $P \in \{P_1, P_2\}$.

Тоді середня швидкість передачі (чи обслуговування черги) відповідно до станів 1 і 2 становитиме

$$v_1 = v_e \frac{1-P_1}{1-P_1^N}, v_2 = v_e \frac{1-P_2}{1-P_2^N},$$

а відношення середніх швидкостей передачі –

$$\xi = \frac{v_2}{v_1} = \frac{(1-P_2)(1-P_1^N)}{(1-P_1)(1-P_2^N)}. \quad (3)$$

Наявність переходів між станами 1 і 2 передбачається тільки з початку передачі пакета. Протокол RLP використовується із схемою ARQ/FEC. За результатом, отриманим з рівняння (3), оцінюється швидкість обробки черги в станах 1 і 2: μ_1 і $\mu_2 = \xi \mu_1$. При цьому передбачається, що відношення швидкостей обслуговування в станах 1 і 2 залишається незмінним.

Виходячи з викладеного вище, маємо, що кількість пакетів у буфері в станах 1 і 2 є марковським процесом із просторовим станом $\|S\| = \{S_1(0), S_1(1), \dots, S_1(K), S_2(0), S_2(1), \dots, S_2(K)\}$, де $S_1(\cdot)$ і $S_2(\cdot)$ – режими помилок у лінії зв'язку при станах з'єднання 1 і 2, відповідно; $0, 1, \dots, K$ – довжина черги, а параметр K – розмір буфера. На рис. 2 показана діаграма таких станів передачі.

Оскільки в даній безпроводовій моделі з ДС передбачається схема керування чергою RIO, то не всі пакети будуть впливати на стан передачі. Деякі пакети відкинуть і не вплинуть на стан системи черг. Якщо взяти в RIO за довжину черги n , то реальна швидкість надходження в систему вхідних, вихідних і всіх пакетів разом становить відповідно

$$\lambda^{\text{BX}}(n) = \lambda^{\text{BX}}(S_1(n)) = \lambda^{\text{BX}}(S_2(n)) = \lambda \eta^{\text{BX}}(n),$$

$$\lambda^{\text{ВІХ}}(n) = \lambda^{\text{ВІХ}}(S_1(n)) = \lambda^{\text{ВІХ}}(S_2(n)) = \lambda \eta^{\text{ВІХ}}(n),$$

$$\lambda(n) = \lambda \eta(n),$$

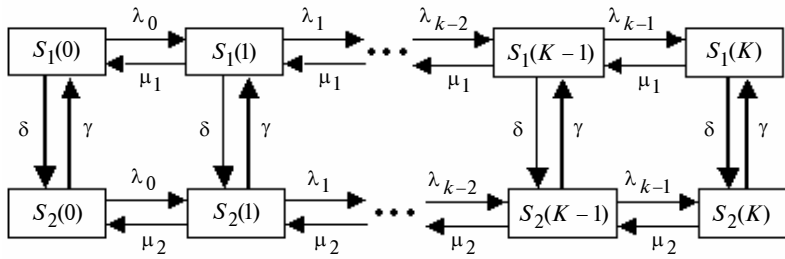


Рис. 2. Діаграма станів передачі

де імовірності η^{BX} і $\eta^{ВІХ}$ задаються формулою (2), а $\eta(n)$ – формулою (1).

Відзначимо, що швидкість надходження пакета не відноситься до стану помилки лінії зв'язку. Тому при довжині черги n реальна швидкість надходження пакета (надходження, що не буде відкинута до введення в чергу) становить

$$\lambda_n = p\lambda^{BX}(n) + \bar{p}\lambda^{ВІХ}(n).$$

Розподіл сталого (стійкого) стану $\psi(s)$, де $s \in \|S\|$, визначається за допомогою таких рівнянь загального балансу:

$$\begin{pmatrix} \|A_{11}\| & \|A_{12}\| \\ \|A_{21}\| & \|A_{22}\| \end{pmatrix} \Psi(s) = 0, \quad \sum \Psi(s) = 1,$$

де

$$\Psi(s) = \|\psi(S_1(0)), \psi(S_1(1)), \dots, \psi(S_1(K)), \psi(S_2(0)), \psi(S_2(1)), \dots, \psi(S_2(K))\|;$$

$$\|A_{12}\| = -\delta \|I\|^{(K+1)}, \quad \|A_{21}\| = -\gamma \|I\|^{(K+1)};$$

$$\|A_{11}\| = \begin{pmatrix} \delta + \lambda_0 & -\lambda_0 & & & \\ -\mu_1 & \delta + \lambda_1 + \mu_1 & -\lambda_1 & & \\ & \dots & \dots & \dots & \\ & & -\mu_1 & \delta + \lambda_{K-1} + \mu_1 & -\lambda_{K-1} \\ & & & -\mu_1 & \delta + \mu_1 \end{pmatrix};$$

$$\|A_{22}\| = \begin{pmatrix} \gamma + \lambda_0 & -\lambda_0 & & & \\ -\mu_2 & \gamma + \lambda_1 + \mu_2 & -\lambda_1 & & \\ & \dots & \dots & \dots & \\ & & -\mu_2 & \gamma + \lambda_{K-1} + \mu_2 & -\lambda_{K-1} \\ & & & -\mu_2 & \gamma + \mu_2 \end{pmatrix}.$$

Тут $\|I\|^{(n)}$ – елементарна матриця розміром $n \times n$.

Нехай L^{BX} , $L^{ВІХ}$ і L – імовірності втрати вхідного, вихідного і всіх пакетів, відповідно. Використовуючи властивість середнього значення за час спостереження надходження пуассонівського потоку PASTA (Poisson Arrival See Time Averages), маємо

$$L^{BX} = 1 - \sum_{n=0}^K \eta^{BX}(n) [\psi(S_1(n)) + \psi(S_2(n))],$$

$$L^{ВІХ} = 1 - \sum_{n=0}^K \eta^{ВІХ}(n) [\psi(S_1(n)) + \psi(S_2(n))],$$

$$L = 1 - \sum_{n=0}^K \eta(n) [\psi(S_1(n)) + \psi(S_2(n))].$$

Можна також одержати ефективну пропускну спроможність пакетів:

$$C_e^{BX} = \lambda p \sum_{n=0}^K \eta^{BX}(n) [\psi(S_1(n)) + \psi(S_2(n))],$$

$$C_e^{ВІХ} = \lambda \bar{p} \sum_{n=0}^K \eta^{ВІХ}(n) [\psi(S_1(n)) + \psi(S_2(n))],$$

$$C_e = \lambda \sum_{n=0}^K \eta(n) [\psi(S_1(n)) + \psi(S_2(n))].$$

Використовуючи формулу Літтла [14], одержуємо середній час затримки (чекання) в черзі:

$$t_d = M(d) = \sum_{n=0}^K n [\psi(S_1(n)) + \psi(S_2(n))] / C_e.$$

Чисельні результати моделювання

Наведемо чисельні результати моделювання процесу для підтвердження адекватності запропонованої моделі. Оскільки аналітична модель заснована на потоках Пуассона, то наше моделювання процесу також виходитиме головним чином з цих потоків. У той же час, слід зазначити, що відповідно до останніх досліджень Інтернет-трафік є самоподібним [15], що позначається на показниках системи. Тому експерименти з моделювання проводилися також на самоподібному трафіку.

При імітаційному моделюванні використовуються два типи трафіку: трафік пуассонівських потоків і трафік самоподібного процесу, що утворюється суперпозицією (накладенням) 32 незалежних експоненціально розподілених джерел "ввімк"/"вимк" з періодами "ввімк", розподіленими відповідно до розподілу Парето з параметром Хурста $H = 0,8$ [16]. Тоді функція розподілу Парето матиме вигляд $F(x) = 1 - (\min\{x\}/x)^{1,4}$.

Імітаційне моделювання проводилося з використанням мережного симулятора NS (Network Simulator) [17], що належить до програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом OSS (Open Source Code Software). Симулятор NS є об'єктно-орієнтованим програмним пакетом, ядро якого реалізоване мовою C++. Мова скриптів (сценаріїв) OTcl (Object oriented Tool Command Language) використовується як інтерпретатор. Симулятор NS цілком підтримує ієрархію класів C++ і подібну ієрархію класів інтерпретатора OTcl. Застосування двох мов програмування в NS пояснюється такими причинами. З одного боку, для детального моделювання протоколів необхідно використовувати системну мову програмування (C++), що забезпечує високу швидкість виконання і здатність маніпулювати досить великими обсягами даних. З іншого боку, для зручності користувача і швидкості реалізації і модифікації різних сценаріїв моделювання більш доречно застосувати мову програмування вищого рівня абстракції (OTcl). Такий підхід є компромісом між зручністю використання і швидкістю.

Забезпечення сильної математичної підтримки дає змогу створювати різні види трафіку, починаючи від найпростішого, що підкоряється пуассонівському закону, і закінчуючи фрактально-броунівським. Гнучкість архітектури NS дає можливість користувачу реалізувати власні математичні функції на C++. Реалізація моделі помилок дозволяє моделювати виникнення помилок на каналному рівні, тобто перекручування чи втрату інформації. Моделювання виникнення помилки можливо на рівні бітів чи пакетів.

У системній моделі, що розглядається в даній статті, береться до уваги тільки спадний прямий канал, тому що вихідний трафік посиляється (відправляється) тільки по односпрямованому TCP-протоколу, з підтвердженням, яке надсилається про одержання кожного пакета ACK (Acknowledgement). Максимальна кіль-

кість повторних передач береться рівною 3. Також при моделюванні використовується механізм FEC, що може відновити до восьми помилкових біт.

Параметри радіолінії і трафіку наведені в таблиці. Поле CRC-коду схеми FEC входить у корисне навантаження. Використано метод керування чергами RIO, параметри якого також даються в таблиці. В усіх розрахунках фіксувалася швидкість (інтенсивність) обслуговування лінії і змінювалося середнє значення швидкості вхідних потоків від джерел трафіку, так що завантаження каналу збільшувалося з 0,0 до 2,0. При цьому завантаження каналу Λ_d визначалося як відношення середньої швидкості надходження потоку (частоти надходження) до середньої швидкості обслуговування.

Таблиця. Параметри каналу та керування чергами

Параметри	Значення
Розмір буфера, пакети	100
Ступінь стиску вхідного пакета	0,9
Мінімальне граничне значення вхідного пакета	50
Максимальне граничне значення вхідного пакета	100
Імовірність відкидання вхідного пакета	0,1
Мінімальне граничне значення вихідного пакета	50
Максимальне граничне значення вихідного пакета	100
Імовірність відкидання вихідного пакета	1,0
Пропускна спроможність каналу, Мбіт/с	1
Розмір пакета, байт	100
Середнє значення періоду стану 1 у каналі, с	0,1
Середнє значення періоду стану 2 у каналі, с	0,0333
Середня тривалість стану "ввімк" джерела, с	0,731
Середня тривалість стану "вимк" джерела, с	0,385
Параметр Хурста розподілу Парето	0,8

На рис. 3 зображено імовірність втрати пакета залежно від завантаження каналу. Як і очікувалося, імовірності втрати пакетів з ростом завантаження каналу збільшуються у всіх випадках. Імовірність втрати вихідних пакетів прямує до одиниці, коли завантаження каналу

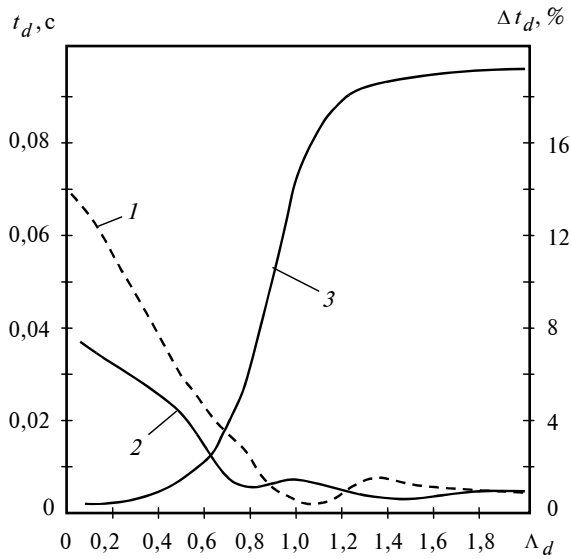


Рис. 3. Залежності затримки t_d згідно з аналітичною моделлю (3) та абсолютними похибками затримок Δt_d , отриманими при імітаційному моделюванні з розподілами Парето (1) і Пуассона (2), відносно завантаження каналу Λ_d

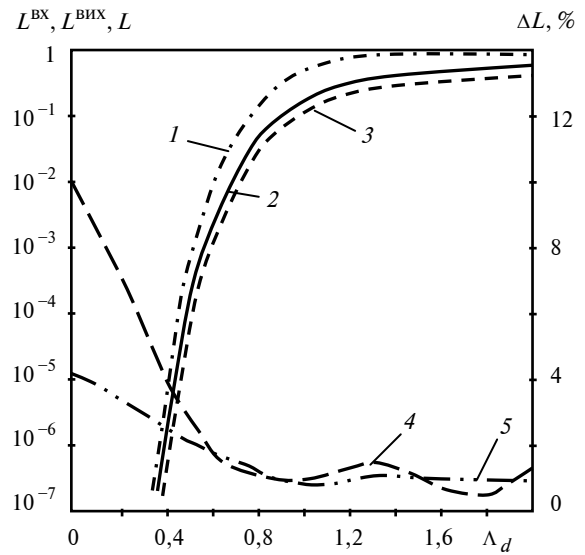


Рис. 4. Залежності імовірності втрат вихідних L^{BX} (1), вхідних L^{BHX} (3) і всіх L (2) пакетів згідно з аналітичною моделлю (криві 1, 2, 3) та абсолютними похибками ΔL , отриманими при імітаційному моделюванні з розподілами Парето (4) і Пуассона (5), відносно завантаження каналу Λ_d

стає близьким до одиниці. Результати є коректними, оскільки ключовою ідеєю RIO є захист вхідних пакетів за рахунок вихідних у випадку значного завантаження каналу. Результати моделювання цілком узгоджуються з аналітичними результатами для всіх типів трафіків, використовуваних у моделюванні.

Ефект самоподібності трафіку в даному випадку проявляється тільки при малому завантаженні каналу, де наявна найбільша похибка між результатами моделювання і аналітичною моделлю, що використовується в пуассонівському процесі. Очевидно, це пов'язано з тим, що застосовується метод керування RIO, який згладжує розбіжності в пакетному трафіку при врахуванні його самоподібної природи і без неї. Втім, наші результати узгоджуються з наведеними в статті [18], де модель ДС розглянута в проводовій мережі.

На рис. 4 зображено залежність затримки пакетів щодо завантаження каналу. З рисунка видно, що середні затримки для вхідних, вихідних і всіх пакетів однакові, а також, що результати імітаційного моделювання й аналітичні результати добре між собою узгоджуються.

Висновки

Модель можливості реалізації гарантованої передачі в радіоканалі СШР враховує велику частоту появи помилок у безпроводовому каналі, а також механізми контролю помилок FEC/ARQ. Виходячи з політики керування чергами RIO, було отримано вирази для визначення показників, що характеризують послуги, надані вхідним, вихідним і всім пакетам у цілому.

Незважаючи на те що модель є спрощеною, аналітичні й імітаційні результати добре збігаються. Оскільки аналітична модель проста і зручна для обчислень, то розроблювачі можуть використовувати її для оцінки впливу різних параметрів на показники системи в цілому.

Наведений у даній статті аналіз виходить з політики керування чергами RIO, але він може бути перенесений і на інші типи стратегій керування чергами, наприклад відкидання останніх пакетів, що може бути подальшим розвитком розглянутих досліджень.

С.А. Кравчук

МОДЕЛЬ ПРЯМОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ УСЛУГАМИ ГАРАНТИРОВАННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Формулируется простая аналитическая модель класса гарантированной передачи дифференцированных услуг по беспроводным каналам. Исходя из предположения о медленных замираниях в канале и используя метод управления очередями RIO (Random Early Detection Input/Output – случайное раннее обнаружение на входе/выходе), были получены выражения для определения параметров, которые характеризуют услуги, предоставленные разным типам пакетов. Хотя модель является упрощенной, она эффективна для вычислений и полученные результаты близки к данным имитационного моделирования процесса.

S.O. Kravchuk

THE DIRECT CHANNEL MODEL OF SECURE TRANSMISSION OF BROADBAND RADIO ACCESS SYSTEM WITH DIFFERENTIATED SERVICES

This paper introduces the simple analytical model of secure wireless transmission of differentiated services. Drawing on the assumption regarding channel slow fades and employing the Random Early Input/Output Detection (RED) method of sequence control, the formulas for parameters determination, characterizing services submitted to different types of packages, are obtained. This simplified model turns out to be effective for the calculations, and the findings revealed are close to simulation technique data.

1. *Ильченко М.Е., Кравчук С.А.* Информационно-телекоммуникационные системы широкополосного радиодоступа // Пробл. управления и информатики. – 2006. – № 1-2. – С. 285–293.
2. *Mahadevan I., Sivalingham K.M.* Quality of service architectures for wireless networks: IntServ and DiffServ models // Proc. of IEEE I-SPAN '99. – Perth, Australia, 1999. – P. 420–425.
3. *Sivalingham K.M.* Quality of service in wireless networks based on differentiated services architecture // Proc. of IEEE ICCCN '99. – Boston, MA, 1999. – P. 548–553.
4. *Кульгин М.* Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2000. – 704 с.
5. *Clark D., Fang W.* Explicit allocation of best effort packet delivery service // IEEE/ACM Trans. Network. – 1998. – 4, N 6. – P. 362–373.
6. *Floyd S., Jacobson V.* Random early detection gateways for congestion avoidance // Ibid. – 1993. – 4, N 1. – P. 397–413.
7. *Guo N., Morgera S.D.* Frequency-hopped ARQ for wireless network data services // IEEE J. Sel. Areas Communication. – 1991. – 7, N 9. – P. 968–981.
8. *Шиллер Й.* Мобильные коммуникации / Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2002. – 384 с.
9. *Xylomenos G., Polyzos G.C.* Internet protocol performance over networks with wireless links // IEEE Network. – 1999. – 4, N 13. – P. 55–63.
10. *Cain J.B., McGregor D.N.* A recommended error control architecture for ATM networks with wireless links // IEEE J. Sel. Areas Communication. – 1997. – 1, N 15. – P. 16–28.
11. *Chiani M., Volta A.* Hybrid ARQ/FEC techniques for wireless ATM local area networks // Proc. of IEEE PIMRC'96. – Taipei, Taiwan, 1996. – P. 898–902.
12. *Choi S., Shin K.G.* A class of adaptive hybrid ARQ schemes for wireless links // IEEE Trans. on Vehicular Technol. – 2001. – 50, N 3. – P. 777–790.
13. *Столлинс В.* Компьютерные системы передачи данных / Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2002. – 928 с.
14. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания / Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
15. *Зюльков И.А.* Самоподобные свойства трафика систем с повторными вызовами // Вестник ВГУ. Сер. Физика, математика. – 2002. – № 1. – С. 20–26.
16. *Cook W., Mumme A.* Estimation of Pareto parameters by numerical methods // Statistical Distributions for Scientific Work. – Boston: D. Reidel Pub. Co., 1980. – 5. – P. 127–132.
17. *Тарасенко О.И., Кравчук С.А.* Моделирование систем беспроводного широкополосного доступа в среде Network Simulator // 36. тез. науч.-техн. конф. ПТ-07 “Проблеми телекомунікацій”, 25–27 квітня 2007 р., м. Київ. – К.: НТУУ “КПІ”, 2007. – С. 199.
18. *Simple performance models of differentiated services schemes for the Internet / M. May, J.C. Bolot, A. Jean-Marie, C. Diot // Proc. of IEEE INFOCOM'98. – San Francisco, CA, 1998. – P. 1385–1394.*