

УДК 517.521:004.7

М.С. Соловійов, В.Я. ВоропаєваДонецький національний технічний університет, м.Донецьк
кафедра автоматики та телекомунікаційE-mail: max_solovyov@mail.ru, voropayeva@meta.ua**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ В КОНВЕРГЕНТНИХ МЕРЕЖАХ
GSM/Wi-Fi ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ НОВИХ СЕРВІСІВ****Abstract**

Solovyov M.S., Voropayeva V.Y. QoS control in GSM/Wi-Fi convergent networks by new services introduction. The questions of maintenance of quality in IP-networks have been discussed. Priorities and traffic classes to various types of the traffic have been appropriated. The mathematical model for definition of optimum number of devices, the ATIM-window size and probability characteristics has been offered. Dependence between frame length, transfer speed and an average beacon delay has been analysed.

Keywords: convergence networks, indexes of quality, delay, variation of delay, carrying capacity, bicon.

Анотація

Соловійов М.С. Воропаєва В.Я. Забезпечення показників якості в конвергентних мережах GSM/Wi-Fi при впровадженні нових сервісів. Розглянуто питання забезпечення якості обслуговування в IP-мережах. Проаналізовані пріоритети й класи трафіку для різних видів мережових навантажень. Запропонована математична модель для визначення оптимальної кількості вузлів, розміру ATIM-вікна та імовірнісних характеристик передачі. Проаналізована залежність між довжиною кадру, швидкістю передачі й середньою затримкою бікона. **Ключові слова:** конвергентні мережі, показники якості, затримка, варіація затримки, пропускна здатність, бікон.

Аннотация

Соловьев М.С. Воропаева В.Я.. Обеспечение показателей качества в конвергентных сетях GSM/Wi-Fi при внедрении новых сервисов. Рассмотрены вопросы обеспечения качества обслуживания в IP-сетях. Проанализированы приоритеты и классы трафика для разных видов сетевых нагрузок. Предложена математическая модель для определения оптимального количества узлов, размера ATIM-окна и вероятностных характеристик передачи. Проанализирована зависимость между длиной кадра, скоростью передачи и средней задержкой бикона. **Ключевые слова:** конвергентные сети, показатели качества, задержка, вариация задержки, пропускная способность, бикон.

Інтерес операторів мобільного зв'язку до сегмента бездротового широкосмугового доступу проявився досить давно й спочатку був пов'язаний скоріше з наданням послуг доступу в Інтернет за технологією Wi-Fi, ніж з повноцінним впровадженням концепції NGN (Next Generation Network). Спільне використання можливостей мереж NGN і мереж мобільного зв'язку та повноцінна їх конвергенція здатні запропонувати абонентам унікальний набір можливостей і послуг. Якщо ж надання конвергентних послуг забезпечується оператором мобільного зв'язку "з одних рук", різко підвищується привабливість такої мережі для клієнтів, отже оператор отримує конкурентні переваги. Рішення виявляється безумовно ефективним і з економічної точки зору, оскільки конвергенція дає можливість більш ефективного використання існуючих ресурсів. Вартість смуги

Wi-Fi дешевше, ніж смуги мережі GSM/3G, що знижує для оператора собівартість послуг зв'язку, що надаються клієнтові.

Постановка задачі дослідження. Питання конвергенції та забезпечення якості обслуговування вже аналізувались фахівцями України та Росії, зокрема надання абоненту послуг з заявленими параметрами якості та побудова моделей забезпечення гнучкого управління мережею розглядалися Семеновим Ю.А.[1], В.Вишневським [2], Оліфер Н.Г., питанням конвергенції неодноразово були присвячені праці Б.С. і А.Б. Гольдштейнів. Провідні дослідницькі лабораторії відомих компаній CISCO, Motorola та інших є передовими з точки зору впровадження механізмів регулювання якості послуг QoS до мережевих рішень.

В даній статті необхідно вирішити наступні задачі: визначити параметри та способи забезпечення якості обслуговування різних класів трафіку конвергентної Wi-Fi/GSM мережі; дослідити механізм надання абоненту доступу до середовища передачі; проаналізувати імовірнісні характеристики параметрів точок доступу та робочих станцій для підвищення якості покриття.

Рішення задачі та аналіз результатів.

Забезпечення якості обслуговування (QoS) в телекомунікаційних мережах здійснюється за рахунок визначення пріоритетів різних видів трафіку, тобто його диференціювання, забезпечення інформаційних потоків необхідними мережними ресурсами, запобігання мережних перевантажень шляхом формування мережного трафіку для згладжування й створення більше рівномірного потоку, підвищення надійності передачі. Таким чином, користувачеві гарантується замовлена їм якість послуг, незалежно не тільки від його трафіку, але й від трафіків інших користувачів. Природно, що цей ефект у ряді випадків може супроводжуватися деяким зниженням якості послуг у користувачів, що володіють більше низьким пріоритетом.

Виділимо головні параметри якості, які є цільними й базовими при наданні послуги абонентові:

- затримка при передачі інформації — час, що потрібен для передачі інформації від джерела до одержувача;
- варіація затримки — різниця між абсолютною затримкою пакета й нормованою;
- час відповіді на запит — для мережних баз даних і CAD-систем;
- відсоток втрачених пакетів;
- ємність каналу зв'язку — реальна кількість ресурсів, доступних користувачеві на певному шляху передачі даних;
- пропускна здатність — максимальна швидкість каналу на ділянці.

Рекомендовані ITU-T [3] значення основних параметрів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 — Параметри IP QoS класів

Параметр	Класи QoS					
	Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5
Затримка	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1з	—
Варіація затримки	50мс	50мс	—	—	—	—
Відсоток втрачених пакетів	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	—

Трафік реального часу (класи 0, 1) є інтерактивним, чутливим не тільки до середнього значення часу затримки, але й до її варіації. Відповідно, для кожного джерела такого типу трафіку в мережевих вузлах формуються окремі черги з пріоритетним обслуговуванням та використовується примусова маршрутизація за критерієм найкоротшого шляху. Протилежний підхід використовується для традиційних додатків IP мереж: ці пакети мають „фоновий пріоритет”, для них може здійснюватися будь-яка маршрутизація.

Базові функції QoS традиційних IP мереж полягають у забезпеченні необхідних параметрів сервісу й визначаються стосовно трафіку як:

- класифікація — співвіднесення пакета до певного класу трафіку;
- розмітка — призначення відповідного пріоритету (мітки);
- керування перевантаженнями — використання механізму черг;
- запобігання перевантажень — використання механізмів RED (відкидання пакетів з потужних потоків) і ECN (повідомлення про зниження інтенсивності);
- регулювання.

Функціонально класифікація й розмітка найчастіше забезпечуються на вхідних портах устаткування, а керування й запобігання перевантажень — на вихідних.

Забезпечення якості обслуговування на ділянці радіодоступу Wi-Fi має певні особливості, що визначаються способом доступу до поділюваного радіо середовища та регулюються стандартом 802.11e, а також специфікацією Wi-Fi Multimedia.

У мережах 802.11 [4] рівень MAC забезпечує 2 режими доступу до середовища: з розподіленою координацією (Distributed Coordination Function — DCF) та централізованою координацією (Point Coordination Function — PCF). У режимі DCF реалізований метод множинного доступу з контролем несучої й запобіганням колізій. У тому випадку, коли в мережі є станція, що виконує функції точки доступу, може застосовуватися централізований режим доступу PCF, що забезпечує пріоритетне обслуговування трафіку.

802.11e розширює DCF і PCF, двома новими функціями координації: розширена (Enhanced DCF — EDCF) і гібридна (Hybrid Coordination Function — HCF). І EDCF, і HCF визначають класи трафіку (Traffic Classes — TC). Наприклад, електронні листи можуть бути віднесені до трафіку з низьким пріоритетом, а пакетна передача голосу через бездротову IP мережу (Voice over Wireless IP — VoWIP) — до високого.

Трафік з високим пріоритетом має більший шанс бути відправленим та очікує менше, ніж трафік з нижчим пріоритетом. Схема доступу трафіку з різним пріоритетом до середовища передачі зображена на рисунку 1.

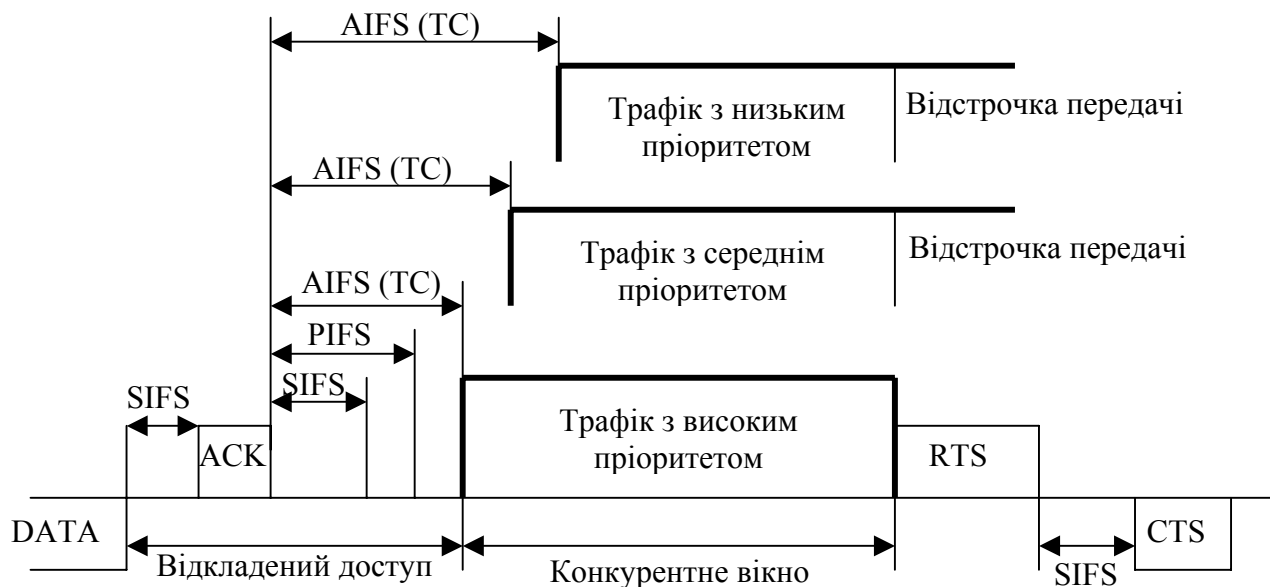


Рисунок 1 — Схема доступу трафіку з різним пріоритетом до середовища передачі

Доступ в ефір контролює гібридний координатор (Hybrid Coordinator — HC), причому здійснюватися це може будь-яким способом (а не тільки циклічно). Крім того станції подають інформацію про довжину їхніх черг для кожного із класів трафіку. HC може використати цю інформацію для того, щоб дати одній станції більший пріоритет. Також станціям дається можливість

передачі (Transmit Opportunity — TXOP): вони можуть посилати кілька пакетів один за одним у виділений їм період часу, обраний НС. Це знижує конкуренцію доступу до середовища передачі та суттєво збільшує ймовірність своєчасної доставки даних, критичних до затримок (аудіо та відео потоки, дані з високим пріоритетом тощо).

Для розрахунку часу TXOP слід використовувати наступну формулу:

$$TXOP_i = \max\left(\frac{N_i \times L_i}{R_i} + O, \frac{M}{R_i} + O\right), \tag{1}$$

де N_i — кількість MAC-кадрів, що були прийняті на середній швидкості передачі за сервісний інтервал;

L_i — номінальний розмір MAC-кадра;

R_i — фізична швидкість передачі;

M — максимальний розмір MAC-кадра (2304 байт);

O — перевантаження за відрізок часу.

$$N_i = \frac{SI \times \rho_i}{L_i}, \tag{2}$$

де SI — сервісний інтервал;

ρ_i — середня швидкість передачі.

Отже, час TXOP визначається як максимум між часом, що потрібен для передачі N_i кадрів зі швидкістю R_i , та часом, що потрібен для передачі MAC-кадра максимального розміру зі швидкістю R_i . Слід також відзначити, що до параметру O слід відносити кадри підтвердження та кадри подовження контролю над ефіром. На рисунку 2 показано розклад часу TXOP для кількох потоків.

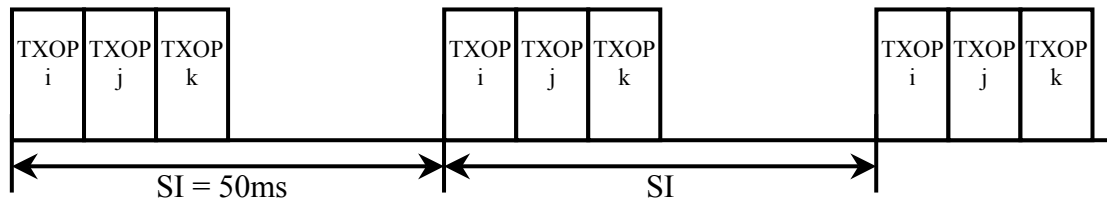


Рисунок 2 — Розклад часу TXOP для потоків робочих станцій.

В разі закриття одного з потоків час, що звільнився, надається потоку, що був наступний у розкладі. Новий розклад створюється для всіх станцій, як показано на рисунку 3.

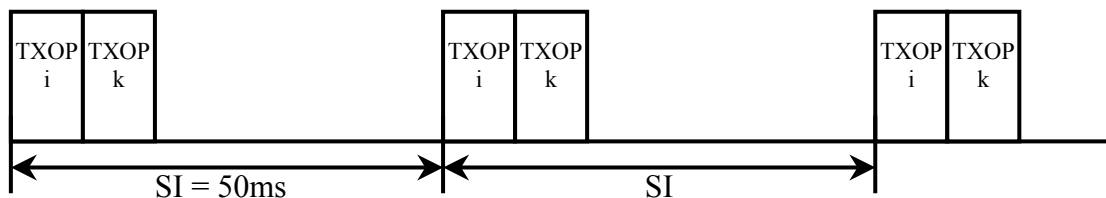


Рисунок 3 — Зміна розкладу часу TXOP при закритті одного з потоків

Коли новий потік надає запит на обслуговування, надання контролю доступу до середовища виконується у наступному порядку:

- за формулою (2) обчислюється кількість MAC-кадрів, що надійшли з середньою швидкістю передачі за сервісний інтервал;

- обчислюється час TXOP, що потрібно надати для нового потоку за формулою (1);
- новому потоку надається контроль доступу до середовища при умові виконання наступної умови:

$$\frac{TXOP_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T - T_{CP}}{T}, \quad (3)$$

де k — кількість існуючих потоків;
 $k + 1$ — індекс для нового потоку;
 T — інтервал надсилання бікона (beacon) — службового кадру для синхронізації станцій та інформування їх про режими роботи точки доступу;
 T_{CP} — час, що надається для EDCF трафіку.

Проаналізувавши наведену модель, можна побачити, що оскільки до уваги береться кожна станція, гарантований доступ до середовища передачі отримає кожен абонент.

Процес передачі бікона є розподіленим, тобто в ньому беруть участь всі станції. Станція, що організує мережу, задає серію моментів часу — очікуваних моментів передачі бікона (Target Beacon Transmission Time — ТВТТ) [4,5]. Послідовні моменти ТВТТ відділені один від одного рівними інтервалами часу — бікон-інтервалами. В кожний момент ТВТТ починається так зване АТІМ-вікно (Announced Traffic Indication Message — повідомлення оголошення про трафік), в якому можна передавати тільки АТІМ-кадри або бікони.

Процес передачі й успішної доставки біконів принципово важливий для роботи мережі, тому розглянемо аналітичну модель процесу передачі біконів. У рамках даної моделі всі точки доступу — синхронні й всі вони можуть одержувати бікони одна від одної, час розглядається як дискретна змінна з базовою одиницею в один слот. Зона покриття пристрою тим ширше, чим нижче швидкість передачі даних. Тому бікони передаються на найменшій базовій швидкості, а дані — на найбільшій можливій.

Процес передачі біконів представлений як послідовність віртуальних слотів (змінної довжини), що починається в кожний момент ТВТТ. Ця послідовність включає максимум K слотів, а загальна довжина всіх віртуальних слотів не може перевищувати розмір АТІМ-вікна.

Аналітична модель дозволяє розрахувати середнє число біконів, успішно переданих за бікон-інтервал $B = (N, K, M)$, де N — число точок доступу в мережі, K — максимальне число віртуальних слотів в АТІМ-вікні, M — розмір АТІМ вікна в слотах.

Очевидно, що $B = (1, K, M) = 1$ для всіх $M \geq K \geq 1$, і $B = (N, 1, M) = 0$, якщо $N > 1$ і $M \geq 1$. Імовірність того, що конкретний пристрій успішно передасть свій бікон протягом бікон-інтервалу, може бути обчислена як $P = B(N, K, M) / N$.

Опишемо процес передачі біконів, розглядаючи послідовно кожний віртуальний слот і перевіряючи число пристроїв, що починають у ньому передачу бікона. Імовірність того, що рівно j з n пристроїв почнуть передачу свого бікона в поточному віртуальному слоті

$$P(j, n, k) = C_j^n \cdot k^j \cdot (1 - 1/k)^{n-j}, \quad (4)$$

де $C_j^n = \frac{n!}{j!(n-j)!}$ — число варіантів вибору j з n пристроїв;

n — кількість пристроїв, що не передали свої бікони

k — кількість нерозглянутих віртуальних слотів

j — кількість пристроїв, що почнуть передачу свого бікона

Бікон вважається переданим успішно тоді, коли рівно одна точка почала передачу бікона в поточному віртуальному слоті. Імовірність цієї події $P(1, n, k)$. Імовірність того, що жодна із точок не планує передачу свого бікона в поточному віртуальному слоті — $P(0, n, k)$.

Розглядаючи послідовно K віртуальних слотів, можна обчислити кількість успішно переданих біконів $B(N, K, M)$ за ітераційною:процедурою

$$B(N, K, M) = P(0, n, k) \cdot 1(k > 1 \ \& \ m > 1) \cdot B(n, k - 1, m - 1) + P(1, n, k) \cdot \{1 + 1(m > t_s \ \& \ k > 1) \cdot B(n - 1, k - 1, m - t_s)\} + \sum_{j=2}^n P(j, n, k) [1(m > t_c \ \& \ k > 1) \cdot B(n - j, k - 1, m - t_c)] \quad (5)$$

У цій формулі перший із трьох доданків відповідає випадку, коли поточний віртуальний слот порожній. Якщо існує принаймні ще один нерозглянутий віртуальний слот ($k > 1$) і ще хоча б один слот у що залишилася частині АТІМ-вікна ($m > 1$), з імовірністю $p(0, n, k)$ до B додається середнє число успішно переданих біконів у частині АТІМ-вікна, що залишилася.

Другий доданок відповідає випадку, коли рівно один з пристроїв передає свій бікон у поточному віртуальному слоті (з імовірністю $P(1, n, k)$). Далі до B додається ще один успішно переданий бікон, перевіряється, що кінець АТІМ-вікна не досягнуто ($m > t_s$) і що хоча б один віртуальний слот ще не розглянутий ($k > 1$), число пристроїв n зменшується на 1, а залишок АТІМ-вікна — на t_s .

Останній доданок відповідає випадку колізії біконів, коли $j = \{2, \dots, n\}$ пристроїв передають свої бікони в поточному віртуальному слоті. Імовірність цієї події $P(j, n, k)$. Ітераційний процес завершується, коли АТІМ-вікно закінчується або всі віртуальні слоти виявляються розглянутими.

Здійснено моделювання для наступних умов: довжина 1 слота — 9 мкс, найменша базова швидкість передачі інформації — 6 Мбіт/с, максимальна кількість віртуальних слотів у АТІМ-вікні дорівнює 31, довжина корисної частини бікона 107 байт, інтервали DIFS (Distributed Interframe Space) та AIFS (Arbitration Interframe Space) обрані стандартними для всіх точок доступу — 34 та 94 мкс відповідно, довжина віртуального слоту t_s , коли жоден з пристроїв не почав передачу свого бікону — 27 слотів, довжина t_c , коли кілька пристроїв починають передачу свого бікону — 34 слоти, кількість пристроїв в мережі — 50. Моделювання проводилось для АТІМ-вікна розміром 50, 150 та 200 слотів.

Результати показують, що число успішних передач біконів росте, поки число пристроїв не занадто велике й точці вдається передати свій бікон майже в кожному бікон-

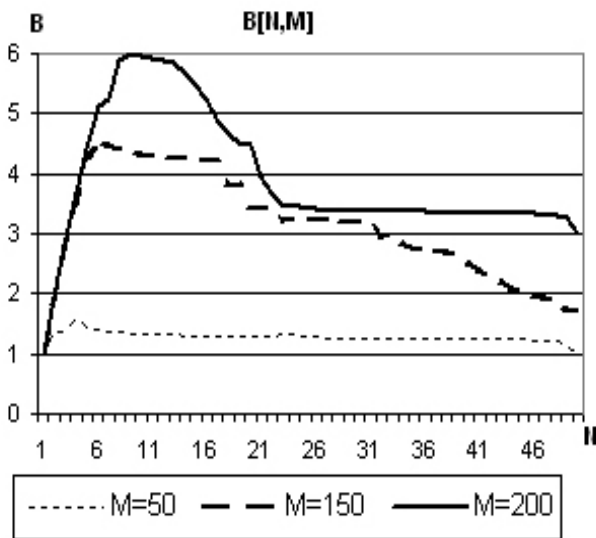


Рисунок 4 — Середня кількість успішних передач біконів за бікон-інтервал в залежності від кількості пристроїв в мережі N при розмірі АТІМ-вікна M

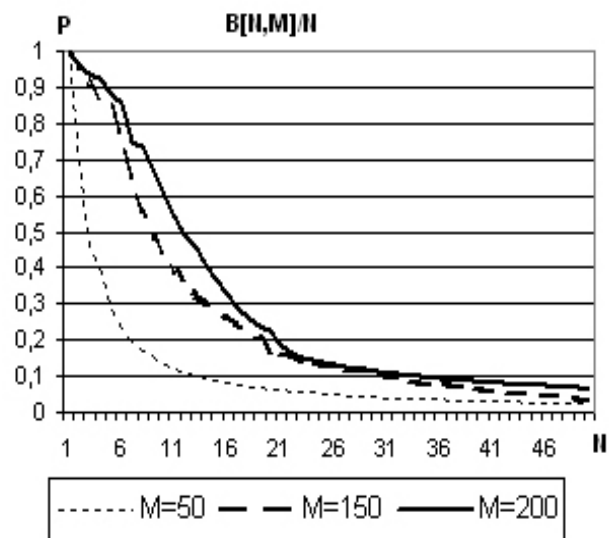


Рисунок 5 — Імовірність вдалої передачі бікону конкретним пристроєм в залежності від кількості пристроїв в мережі N при розмірі АТІМ-вікна M

інтервалі (рисунок 4). Коли кількість пристроїв у мережі досягає певного значення, що залежить від розміру АТІМ-вікна, число успішних передач знижується, тому що ймовірність колізії біконів різко зростає. Коли в мережі перебуває N пристроїв, залежність числа успішних передач від розміру АТІМ-вікна росте з характерною періодичністю. Причому цей період приблизно дорівнює часу передачі бікона. Тобто збільшення розміру АТІМ-вікна на довільну величину, меншу якоїсь граничної, може не збільшити успішність передачі біконів. Імовірність успішної передачі бікона конкретним пристроєм залежно від числа пристроїв у мережі й розміру АТІМ-вікна (рисунок 5). Причому імовірність успішної передачі бікона падає повільно до певного числа пристроїв у мережі, тому що імовірність колізії біконов невелика. При фіксованому числі пристроїв у мережі імовірність колізії біконів залежить від числа віртуальних слотів, що росте зі збільшенням АТІМ-вікна. Оскільки число віртуальних слотів не може перевищувати $K = 1 + 2 \cdot aCW_{\min}$, з певної точки імовірність вдалої передачі стрімко падає, оскільки кількість колізій біконів стрімко зростає.

Як вже було відзначено, в АТІМ-вікні заборонена передача кадрів даних, тому воно повинне бути як можна коротше. З іншого боку, у короткому вікні ймовірність колізії біконів вище. З огляду на наведену методику, можна підібрати розмір АТІМ-вікна залежно від числа точок доступу у мережі так, що імовірність успішної передачі бікона для обраної точки не перевищує заздалегідь заданої величини, і розмір АТІМ-вікна при цьому мінімальний.

Висновки.

1. Визначено параметри та способи забезпечення якості обслуговування різних класів трафіку конвергентної Wi-Fi/GSM мережі, такі як класифікація, керування та запобігання перевантажень, регулювання трафіку.
2. Доведено, що режим Hybrid Coordination Function (HCF) є найбільш прийнятним з точки зору надання доступу до середовища пріоритетного трафік, бо гарантує QoS для різноманітних служб.
3. Побудована модель процесу передачі, успішної доставки і колізії біконів.
4. Встановлено, що ймовірність успішної передачі бікона падає повільно до певного числа пристроїв у мережі, бо ймовірність колізії біконів невелика. При фіксованому числі пристроїв у мережі імовірність колізії біконів залежить від числа віртуальних слотів, що росте зі збільшенням АТІМ-вікна.
5. Визначена залежність розміру АТІМ-вікна від числа точок доступу у мережі, що дозволяє мінімізувати цей розмір при гарантованій імовірності успішної передачі бікона.

Література

1. Семёнов Ю.А. (ГНЦ ИТЭФ) 12th International Conference on Extending Database Technology (EDBT). — 2004.
2. В.Вишнеvский, Д.Лаконцев, А.Сафонов, С.Шпилев: QoS в сетях Wi-Fi, Связь и телекоммуникации. — 2008.
3. ITU-T Recommendation Y.1540/Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. Geneva: International Telecommunication Union. — 2006.
4. IEEE 802.11e: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, NY. — 2005.
5. ITU-T Recommendation G.1010 Quality of Service and performance. Geneva: International Telecommunication Union. — 2006.

Здано в редакцію:
24.02.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Скобцов Ю.О.