

и нагрузка трафика может изменяться случайным образом в различных пределах, но для сравнения работы AQM-регуляторов следует выбирать одинаковые “возмущающие воздействия”, например, как показано на рис. 3.

Выводы. В интерактивной системе MATLAB получена стохастическая модель системы активного управления очередью в сетях TCP/IP, на основе которой могут быть исследованы AQM-системы с различными алгоритмами управления.

Литература

1. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.B., “On Designing Improved Controllers for Routers Supporting TCP Flows”, in Proceedings of IEEE INFOCOM’2001, April 2001, 1726-1734.
2. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.B. “Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows”. IEEE/ACM Transactions on Automatic Control, vol. 47, no.6, pp. 945-959, June 2002.
3. Гостев В.И. Фаззи-системы активного управления очередью в сетях TCP/IP : монография / В.И. Гостев, С.Н. Скуртов. – Ніжин: ООО «Аспект-Поліграф», 2011. – 464 с.

УДК 621.391

Климаш М.М., д.т.н.; Вакула Ю.Я., асп. (Національний університет «Львівська політехніка»)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ В РАДІОМЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ CDMA НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ МОБІЛЬНИХ СТАНЦІЙ

Климаш М.М., Вакула Ю.Я. Моделювання та дослідження якості послуг в радіомережах стандарту CDMA на основі алгоритму управління потужністю мобільних станцій. Розглянуто основні алгоритми управління потужністю в радіомережах стандарту CDMA та розроблено математичний апарат для моделювання в середовищі програми MatLab 2010. На основі проведених досліджень запропоновано покращити алгоритми управління потужністю внаслідок використання відношення SINR в якості критерію зміни потужності. Результати досліджень проаналізовані та подані у зручній формі для подальшого використання.

Ключові слова: CDMA МЕРЕЖІ, ЯКІСТЬ СЕРВІСУ, УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ, DBPA, MSPC

Климаш М.Н., Вакула Ю.Я. Моделирование и исследование качества услуг в радиосетях стандарта CDMA на основе алгоритма управления мощностью мобильных станций. Рассмотрены алгоритмы управления мощностью в радиосетях стандарта CDMA и разработан математический аппарат для моделирования в среде программы MatLab 2010. На основе выполненных исследований предложено улучшить алгоритмы управления мощностью в результате использования отношения SINR в качестве критерия изменения мощности. Результаты исследований проанализированы и представлены в удобной форме для дальнейшего использования.

Ключевые слова: CDMA СЕТИ, КАЧЕСТВО СЕРВИСА, УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ, DBPA, MSPC

Klymash M.M., Vakula Yu. Ia. Quality of service research for CDMA networks on base of power control method. The article describes main methods for power control achievement in CDMA networks and proposes mathematical approach for further modelling using MatLab 2010 software environment. As the result of work the improvement for power control method using SINR in the role of rule for power deviation is proposed. Research results are analyzed and represented in a usable form for future investigations.

Key words: CDMA NETWORKS, QUALITY OF SERVICE, POWER CONTROL, DBPA, MSPC

Вступ. Для сучасних CDMA мереж особливої актуальності набула якість надання послуг. З точки зору користувачів CDMA мережі призначені для забезпечення високоякісних сучасних послуг, що базуються на передачі даних. Серед цих послуг можна виділити передачу потокового відео, візуалізацію конференцій в реальному часі, визначення поточного місця знаходження та інші. Новітні технології CDMA адаптовані для роботи із усіма видами мультимедійної інформації та являються засобами для забезпечення високої якості послуг, що надаються абонентам.

При забезпеченні якості надання послуг (QoS) найбільш критичною складовою системи є мережа радіодоступу. Це спричинено обмеженням власного ресурсу – спектру частот. Саме тому необхідно провести високоточне планування мережі ще до початку розгортання. При вдалому підборі параметрів системи на етапі планування мережа радіодоступу під час свого функціонування здійснює ряд функцій для підтримки якості послуг – управління потужністю випромінювання, керування завантаженням, управління хендовером, управління доступом, розподілення пакетів та інше.

Оптимальний контроль потужності є надзвичайно важливою складовою CDMA систем оскільки здійснює безпосередній вплив на продуктивність і ємність мережі, а тому може бути регульованим для забезпечення належної якості сервісу (QoS) для мобільних користувачів у комірковій радіосистемі.

Моделювання алгоритмів управління потужністю мережі. В якості тривіальних алгоритмів управління потужністю в мережах CDMA найчастіше використовуються алгоритм розподілу потужності на основі відстані DBPA (Distance Based Power Allocation Algorithm) та багатокроковий алгоритм управління потужністю на основі відношення сигналу до інтерференційних завад MSPC (Multi-Step SIR-based Power Control Method) [1].

Для регулювання потужності передачі DBPA використовує відстань між базовою станцією (БС) і мобільною станцією (МС) в межах комірки. В даній реалізації не відбувається зворотного зв'язку і тому цей алгоритм називають механізмом контролю потужності за допомогою відкритої петлі. Найбільша потужність передачі буде дозволеною для станцій, що знаходяться на межі комірки.

MSPC являється більш досконалим та важчим в реалізації алгоритмом. Це алгоритм замкнутої петлі, що використовує зворотній зв'язок від МС для регулювання потужності передачі. У цій схемі контролю потужності БС оновлює значення потужностей передачі на основі середнього значення відношення сигналу до інтерференційних завад SIR. Оновлення зазвичай відбувається в багато кроків, що і пояснює назву алгоритму.

Моделювання алгоритмів алгоритму розподілу потужності на основі відстані DBPA та багатокрокового алгоритму управління потужністю на основі відношення сигналу до інтерференційних завад MSPC приведено на рис. 1 і 2.

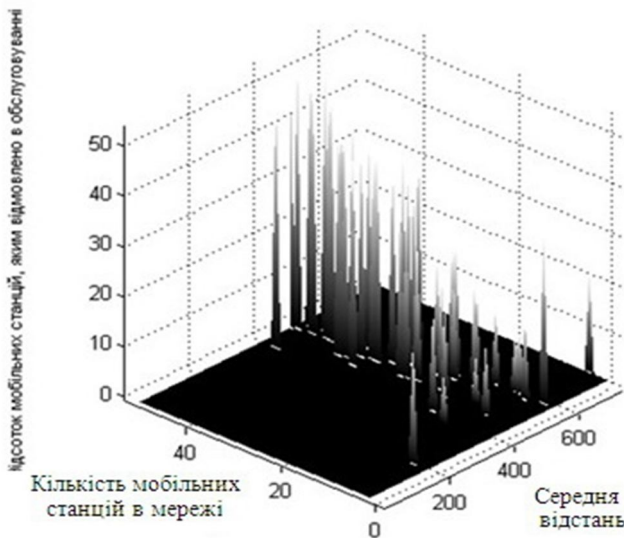


Рис. 1. Моделювання DBPA

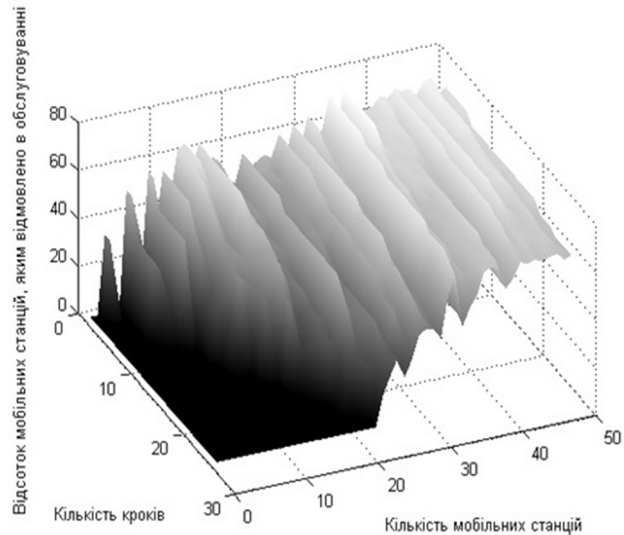


Рис. 2. Моделювання MSPC

Вибір відношення сигналу до інтерференційних завад SIR в якості критерію для зміни потужності МС хоча і дозволяє покращити енергетичний рівень системи на 2...6 децибел, але в деякій мірі створює рівень похибок в обчисленнях – більш точні результати можна отримати, використовуючи відношення сигналу до інтерференційних завад та рівню шуму (SINR). У цій реалізації рівні потужності постійно вимірюються для всього мобільного обладнання в мережі та постійно підлаштовуються у порядку досягнення необхідного рівня SINR (signal to interference and noise ratio), що змінюється динамічно.

Використання SINR в якості критерію управління потужністю мережі. SINR для k МС може бути виражений за допомогою k -мірного вектора, що може допомогти визначити робоче значення системи і, оскільки система перебуває під постійним моніторингом, то і змінювати свій рівень відповідно до умов в радіоканалі і мобільності користувачів.

Розглянемо цей постійно змінний вектор як рух точки у високовимірному Евклідовому просторі, що називається QoS простором. При поширенні сигналу на його загасання впливають три основні фактори: *втрати* потужності з відстанню (path loss); *затінення* (shadowing), *багатопроменеве загасання* (multipath fading).

Нехай P_k буде отриманим рівнем потужності від деякого k -го користувача. Тоді модель поширення для цього користувача можна записати так:

$$\tilde{P}_k = P_k F_k \left(\frac{d_0}{d_k}\right)^{\beta_k} \quad (1)$$

де \tilde{P}_k – прийнята потужність; d_k – шлях передачі; d_0 – відносний шлях до антени у близькій зоні; F_k – багатопроменеве затухання; β_k – коефіцієнт втрат із відстанню для k -го користувача.

Використовуючи (1) значення SINR для k -го приймача в радіосистемі може бути визначено як:

$$SINR_k = \frac{P_k F_k d_k^{-\beta_k} \alpha_k}{\sum_{j \neq k}^K P_j F_j D_s^{-1} d_j^{-\beta_j} \alpha_j + \sigma_k^2} \quad (2)$$

де параметри α_j , $j = 1, \dots, K$ введені для врахування константи нормалізації d_0 та інших чинників, таких як ефект формування променів у системах з багатьма антенами та інших; σ_k^2 – потужність шуму, що спричинена k -м користувачем системи.

Зниження потужності користувача внаслідок інтерференції моделюється за допомогою параметра D_s , який можна розглядати як коефіцієнт підсилення для систем CDMA з узгоджуваними фільтрами приймачів [2, 3].

SINR часто використовується в якості QoS параметра, але насправді для наочної оцінки результатів набагато кориснішим є визначення смуги пропускання для k -го користувача [4], оскільки добре відомим фактом є те, що пропускна здатність гаусівського каналу з гаусівськими інтерференційними завадами є функцією SINR. Смугу пропускання для k -го користувача можна визначити так:

$$R_k = \frac{1}{T} \log(1 + K^{ber} SINR_k), \quad (3)$$

де $K^{ber} = -1.5 / \log(5BER)$; BER – ймовірність бітової помилки; T – тривалість символу, яка повинна бути встановленою кратною одиниці.

Далі позначимо $G_j = F_j D_s^{-1} d_j^{-\beta_j} \alpha_j > 0$, $j = 1, \dots, K$ як втрати з відстанню для j -го користувача. Одна з найбільш актуальних проблем контролю потужності базується на збільшенні пропускної здатності для конкретного користувача, обмежуючи швидкість передачі для інших користувачів, враховуючи індивідуальні профілі QoS [5]. Математично це можна представити наступним чином:

$$R_k = \log\left(1 + K^{ber} \frac{P_k G_k}{\sum_{j \neq k}^K P_j G_j + \sigma_k^2}\right); \quad (4) \quad R_j \geq \gamma_j^{LB}, \forall j \neq k; \quad (5)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}_{1,l}} P_j G_j < c_l; \quad (6) \quad 0 \leq P_j \leq P_j^{UB}, \forall j, \quad (7)$$

де γ_j^{LB} – нижня границя необхідної швидкості передачі для j -го користувача; $\mathcal{I}_{1,l}$ – набір індексів, що включають взаємовплив між користувачами, для яких встановлені значення QoS є відносно малі; c_l – значення QoS; P_j^{UB} – верхня границя потужності, що передається. (P_j).

Отже, для вирішення проблеми управління потужністю необхідно максимізувати вираз (4) відповідно до значення нерівності (5). Зауважимо, що в даному математичному апараті вираз (5) використовується для гарантування, що вимоги щодо якості сервісу QoS на мінімальній швидкості передачі задовольнятимуть існуючих користувачів.

В той час, як нерівність (6) обмежує взаємовплив від відповідної групи користувачів $I_{1,i}$, вираз (7) гарантує, що потужність P_j не перевищує пікову границю потужності P_j^{UB} .

Проблеми оптимізації відповідно до (4)...(7) є виключно нелінійними проблемами оптимізації, які досить важко вирішити [5...7].

На рис. 3 наведені графічні залежності, отримані в результаті досліджень імітаційного середовища передачі з використанням значення SINR в якості критерію управління потужністю в середовищі MatLab 2010. Отримані залежності дозволяють оцінити ймовірність відмови в обслуговуванні в залежності від кількості МС в модульованій системі коміркового зв'язку та визначити кількість кроків алгоритму, що необхідно виконати для приведення системи до збалансованого стану.

Розроблена модель дозволяє досягнути збільшення ємності коміркової системи при збереженні ефективності мережі. Цей результат досягається за рахунок використання більш точного алгоритму управління потужністю. За рахунок цього обмежений ресурс мережі радіодоступу використовується в більш повній мірі, жертвуючи лише збільшенням навантаження на обчислювальну складову системи. Сучасні схеми управління потужністю дозволяють модифікувати програмне забезпечення, що дозволяє впровадити нові алгоритми керування потужністю за рахунок зміни лише програмної складової.

Висновки. Залежності, отримані при врахуванні SINR, є більш рівномірними. Тут спостерігається менше коливань синусоїдальної складової, що дозволяє досягти більш точних вимірювань у всіх точках трьохмірного простору. Використання SINR в якості критерію управління потужністю дозволяє з більшою вірогідністю визначити такі критичні моменти для мережі, як необхідність у відмові в обслуговуванні. Іншою перевагою є зменшення кількості кроків алгоритму керування потужністю для приведення системи до збалансованого стану, а отже, збільшення швидкодії системи.

Отже, використання розрахунків із більшою точністю є запорукою забезпечення належної якості послуг користувачам CDMA мережі.

Література

1. G. J. Foschini, and Z. Miljanic. A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence // IEEE Trans. Veh. Technol. – Nov. 1993. – Vol. 42. – PP. 641-646.
2. R. D. Yates. A framework for uplink power control in cellular radio systems // IEEE Journal Selected Areas in Communications. – Sept. 1995. – Vol. 13. – PP. 1341-1347.
3. F. Rashid-Farrokhi, K. J. R. Liu, L. Tassiulas. Transmit beamforming and power control for cellular wireless systems // IEEE Journal Selected Areas in Communications. – Oct. 1998. – Vol. 16. – PP. 1437-1450.
4. M. Biguesh, S. Shahbazpanahi, and A. B. Gershman. Robust downlink power control in wireless cellular systems // EURASIP J. Wireless Communications and Networking, special issue on Multiuser MIMO Networks. – Dec. 2004. – No. 2. – PP. 261-272.
5. S. Kandukuri, and S. P. Boyd, "Optimal power control in interference-limited fading wireless channels with outage-probability specifications," IEEE Trans. Wireless Communications. – Vol. 1. – PP. 46-55, Jan. 2002.
6. D. Julian, M. Chiang, D. O'Neill, and S. P. Boyd. QoS and fairness constrained convex optimization of resource allocation for wireless cellular and ad hoc networks // Proc. IEEE INFOCOM'02, New York, NY. – Jun. 2002. – PP. 477-486.
7. M. Chiang. Geometric programming for communication systems // Foundations and Trends in Communications and Information Theory. – Aug. 2005. – Vol. 2, No. 1-2. PP. 1-154.

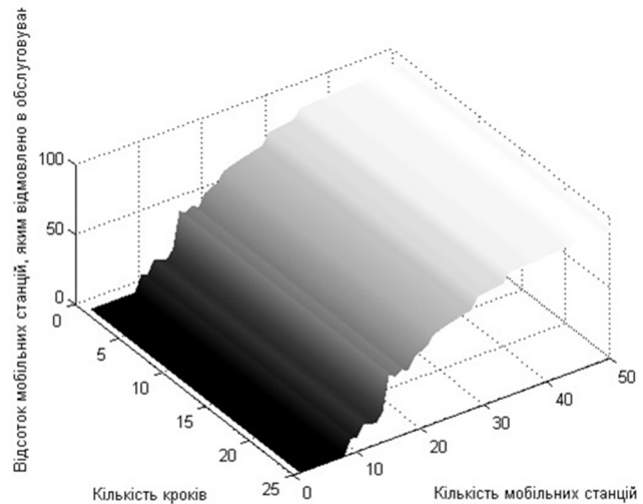


Рис. 3. Моделювання MSPC з використанням значень SINR