

УДК 621.391; 621.398(075.8)

О.С. Панкратова

Державний університет телекомунікацій, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ SMART-АНТЕН ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ WiMAX

У статті запропоновано оптимізувати вживані в технології WiMax Smart-антени шляхом застосування критерія наведення променя детектора низького типу модуляції (наприклад BPSK).

Ключові слова: система WiMAX, Smart-антена, функція розподілу.

Вступ

Системи WiMAX, як системи наступного покоління високошвидкісних бездротових комунікацій, зараз широко використовується завдяки їх великій інформаційній ємності, великого розміру покриття цих систем, і характерні для них розроблені системи менеджменту якості (QoS). Ці системи можуть бути застосовані до всіх видів сучасної технології: модуляції, адаптивної модуляції OFDM та кодування типів, адаптована для вирішення конкретної проблеми побудови антенних систем, простір-час кодування і навіть режимі MIMO (кілька входів і виходів). Всі ці інструменти призначені для збільшення оперативних параметрів системи. Можна стверджувати, що за допомогою технології WiMAX можна передавати дані на відстань до 50 км зі швидкістю до 75 Мбіт/с.

Три з чотирьох специфікацій фізичного рівня стандартів IEEE 802.16d і IEEE 802.16e (WirelessMAN – SCA, OFDM і OFDMA) передбачають опціональні режими роботи з використанням антенної техніки MIMO або адаптивних антенних систем (Adaptive Antennas Systems – AAS). Перший режим, припускає комбіноване застосування схем просторового кодування/мультиплексування і MIMO (іноді званий "Simple MIMO"). Для другого, разом з використанням згаданих схем, характерне застосування AAS і технології цифрового формування променя. У літературі цей режим згадується як "AAS-MIMO".

Особливістю радіоінтерфейсу Mobile WiMAX є інтелектуальне управління діаграмою спрямованості (Smart BeamForming), яке реалізується на базі адаптивної антенної системи (AAS). Особливістю цієї технології є зміна діаграми спрямованості антени залежно від розташування абонентів. Якщо застосовується звичайна секторна антена, діаграма спрямованості має заздалегідь задану незмінну форму. В той же час AAS має здатність динамічно змінювати діаграму спрямованості антени, зосереджуючи усю випромінювану потужність або напрям найбільш ефективного прийому відповідно до розміщення абонентів. Реалізація Smart BeamForming дозволяє міняти діаграму спрямованості антени кожен кадр, тобто кожні 5 мс, завдяки чому можна використовувати

цю технологію навіть для абонентів, які швидко рухаються.

Основна частина

Smart-антени з'явилися на стику цифрового діаграмоутворення і секторних антен і спочатку використовувалися у військовому радіозв'язку. На відміну від звичайних антен, Smart -антена є складною системою елементів антенних фідерів і додаткових функціональних пристроїв, що зумовлюють її "інтелектуальні" властивості. Принцип роботи Smart-антен ґрунтується на допущенні про те, що джерело корисного сигналу і перешкоди рідко поєднані по напрямку. Це дозволяє, забезпечивши максимум посилення антени в потрібному напрямі і сформувавши мінімум її діаграми спрямованості (ДН) на джерело перешкоди, багаторазово підвищити робоче відношення сигнал-шум на вході приймача.

Основою Smart-антени є спеціальна конструкція антенної решітки (АР), яка є сукупністю дискретних елементів, когерентно по відношенню до інших елементів тих, що приймають або випромінюють електромагнітні сигнали. Як елементи АР найчастіше використовують прості пристрої: вібратори, щілини, спіралі, рупори і тому подібне. Як правило, ці пристрої об'єднані в регулярні структури правильною геометричною формою.

Елементи АР підключені до приймача через багатоканальну систему приємозбуджувачів, що дозволяє отримувати в розкритті АР різні розподіли поля, формуючи таким чином різні ДН. Результуюча ДН формується внаслідок "інтерференції" хвиль, що випромінюються елементами АР. Принципова особливість АР полягає в тому, що її ДН виявляється легко керованою шляхом зміни комплексної амплітуди і поляризації хвиль, що випромінюються елементами АР. На практиці найчастіше використовують т.з. фазовий метод управління ДН антенних решіток, метод частотного сканування або їх поєднання.

Як правило сигнал, прийнятий кожним з просторово рознесених елементів АР, множиться на деякий ваговий коефіцієнт, після чого ці сигнали об'єднуються. Вагові коефіцієнти обчислюються відповідно до вибраного алгоритму адаптації. Такий процес оптимізації випромінювання в зарубіжній літе-

ратурі отримав найменування "цифрове формування променя". Адаптивні антенні системи "Повністю інтелектуальні" і можуть динамічно реагувати на зміни, що відбуваються в комунікаційному середовищі і самостійно до них адаптуватися. Функціонуванням адаптивної антенної системи управляє складний обчислювальний комплекс. Також як і в системах з комутованим променем, в адаптивних антенних системах формується багатопроточна ДН. Проте напрями формованих при цьому променів не є фіксованими і можуть змінюватися. Орієнтацією променів управляє цифрова схема, яка направляє їх на бажаних абонентів і далі здійснює супровід при переміщенні останніх. Одночасно ця ж схема мінімізує, інтерференційний вплив з боку "сторонніх" РЕС шляхом формування "нулів" ДН антени у напрямі приходу перешкод. Адаптивна антена - це модульний пристрій, що виконує наступні функції:

- прийом усіх сигналів, що поступають, включаючи перешкоди і копії корисного сигналу, а також їх оцінювання по відповідних алгоритмах;
- розпізнавання (визначення) корисного сигналу і його виділення серед небажаних сигналів;
- "підстроювання" променя ДН у напрямі приходу корисного сигналу при переміщенні користувача і його постійне відстежування;
- формування нулів ДН у напрямі приходу перешкод і постійне оновлення (корекцію) вагових коефіцієнтів обробки.

Як згадувалося вище, ДН ФАР або адаптивної антенної системи можна змінювати, управляючи фазами напруги живлення її елементів. Щоб пояснити, як працює адаптивна антена, розглянемо структурну схему.

"Серцем" адаптивної антенної системи є цифровий процесор (по суті це адаптивний фільтр), що відповідає за прийом і обробку сигналів.

Основна мета обробки полягає в максимізації відношення сигнал/шум за рахунок автоматичного регулювання вагових коефіцієнтів (w_i), з якими

підсумовуються сигнали, прийняті окремими елементами АР.

Сигнали, прийняті елементами антенних ґрат, проходять через тракт перетворення частоти і оцифровуються в лінійці АЦП. На виході АЦП формується набір оцифрованих сигнальних відліків (x_1, x_2, \dots, x_n) далі поелементно перемножуваних з набором вагових коефіцієнтів (w_1, w_2, \dots, w_j) і потім підсумовуваних. Отриманий таким чином сигнал порівнюється з деяким опорним сигналом, внаслідок чого формується сигнал помилки, що підлягає мінімізації. У адаптивних антенних системах із замкнутою петлею управління, цей опорний сигнал є отриману на попередньому такті обробки оцінку корисного сигналу (у припущенні про те, що ДН антени орієнтована на його джерело).

Вагові коефіцієнти в процесі адаптації змінюються відповідно до того або іншого критерію міні-

мізації помилки. Наприклад, при використанні алгоритму LMS (мінімізації середнього квадрата помилки - Least Mean Square) оновлені вагові коефіцієнти розраховуються по формулі:

$$w(k+1) = w(k) + \mu \cdot e'(k) x(k), \quad (1)$$

де $w(k)$, $e(k)$, $x(k)$ - вектори вагової обробки, сигналу помилки і сигналу на вході відповідно, ' - знак комплексного сполучення. Для генерування сигналу помилки опорний сигнал $u(p)$ віднімається з сигналу на виході фільтру. Далі сигнал помилки використовується для підстроювання коефіцієнтів цифрового фільтру, що мінімізує сигнал помилки на наступному такті обробки. Суть завдання адаптивної фільтрації, таким чином, полягає в мінімізації розузгодження між вхідним сигналом $x(p)$ і опорним сигналом $u(p)$.

Початкові значення коефіцієнтів фільтру, як правило, визначаються при передачі деякого еталонного сигналу, що є відомим зразком даних. При цьому роль алгоритму адаптації полягає в коригуванні коефіцієнтів фільтру для встановлення відповідності між оцінкою прийнятих даних і їх еталонном. У рамках даної статті пропонується оптимізувати критерій вибору променя таким чином.

У Smart - антенах з адаптивним управлінням орієнтацією променів управляє цифрова схема, яка направляє їх на бажаних абонентів і далі здійснює супровід при переміщенні останніх.

Обслуговування абонентів, оснащених зовнішньою спрямованою антеною на найшвидкіснішій модуляції 64QAM, підтримувальною максимальну символну швидкість і відповідну швидкість передачі даних, забезпечується на дальності до 25 км, 16QAM - на дальності до 40-45 км. Здатність підтримки тієї або іншої модуляції є важливою особливістю технології WiMax і залежить від багатьох параметрів зв'язку, і, в першу чергу, від енергетичних параметрів системи. У загальному випадку можна сказати, що система вибирає тип модуляції виходячи з енергетичних характеристик прийнятого сигналу. Оптимізація критерію полягає в заміщенні складної схеми управління адаптивним променем або вимірника співвідношення сигнал/шум простим детектором BPSK або QPSK - модуляції. Система WiMax автоматично буде переходити до простішого типу модуляції при погіршенні співвідношення сигнал/шум і означає, що цю операцію можна повторно для Smart - антен не проводити. Цей критерій чудово підходить як для антен з комутованим променем, так і для адаптивних систем.

Розглядаючи питання визначення характеристик функціонування Smart-антен на основі неупорядкованих моделей масового обслуговування, слід зазначити, що облік виду вхідного інформаційного потоку (телефонія, передача даних, IP-TV) або розподілу часу перетворення інформації виробляється шляхом апроксимації відповідного розподілу $A(t)$ або $B(t)$ однієї з шматкових функцій розподілу. Відмітною особливістю використовуваних моделей є наявність неординарних потоків подій.

Нехай є Smart - антена з обмеженим числом променів різного напрямку N , заявки на яку поступають по h штук, причому проміжки між моментами приходу сусідніх розподілені згідно із законом $A(t)$. Одночасно обслуговуються i / заявок, час обслуговування розподілено згідно із законом $B(t)$. Якщо число заявок на Smart - антену менше / (відсутні абоненти мережі з типом модуляції BPSK), то обслуговуючий пристрій простуює.

Розглянемо однолінійну (тобто одночасно обслуговується не більш за одну заявку) Smart - антену з обмеженим числом місць очікування і неординарними потоками подій, в якій функція $A(t)$ має вигляд, відповідний розподілу Эрланга або гіперекспоненціальному розподілу, а час обслуговування розподілено по одній з шматкових залежностей. Ввівши додаткові стани системи по методу фаз, можна виділити точки регенерації, якими для даного випадку являтимуться моменти часу, що безпосередньо йдуть за виходом обслугованих заявок з Smart-антен. Розглянемо випадок, коли

$$A(t)=1-e^{-\lambda t} \quad (2)$$

представляється у вигляді

$$\|P_{ij}\| = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & a & b & v \\ \hline & & d & e \\ \hline z & & & \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} l \text{ рядків} \\ N+1-l \text{ рядків} \end{array} \right\} \quad (3)$$

причому підматриці a , b , v , відповідають режиму простою обслуговуючого пристрою (оскільки число заявок на Smart - антену менше); а матриці g , d , e - режиму роботи обслуговуючого пристрою.

Введемо величини

$$K_j = P\{\xi=j\}, \quad j=0, 1, 2, \dots, \quad (4)$$

де ξ - число заявок, що поступили в систему за час між моментами виходу з Smart - антен двох сусідніх обслугованих заявок. Тоді елементи підматриць матриці (3) можна записати таким чином:

$$p_{ij} = 0, \quad i \geq j, \quad i \leq j;$$

$$p_{ij} = k_r, \quad r = \frac{j-i}{h} = 0, 1, 2, \dots, \quad i \leq j \leq N;$$

$$p_{ij} = 0, \quad r = \frac{j-i}{h} \neq 0, 1, 2, \dots, \quad i \leq j;$$

$$p_{ij} = 1 - \sum_{s=0}^r k_s = k_{r+1}, \quad j = N, \quad r = \frac{N-i-1}{h}, \quad i \leq j;$$

$$p_{ij} = 0, \quad i-1 \geq j; \quad (5)$$

$$p_{ij} = k_r, \quad r = \frac{j-i+1}{h} = 0, 1, 2, \dots, \quad i-1 \leq j \leq N;$$

$$p_{ij} = 0, \quad r = \frac{j-i+1}{h} \neq 0, 1, 2, \dots, \quad i \geq j;$$

$$p_{ij} = 1 - \sum_{s=0}^r k_s = k_{r+1}, \quad j = N, \quad r = \frac{N+1-i-1}{h}, \quad i \geq 1.$$

Величини k_j ($j=0, 1, 2, \dots$), що входять в ці формули, визначаються відповідно до виразу:

$$k_r = \int_0^{\infty} \frac{(\alpha t)^r}{r} e^{-\alpha t} dF(t) = \frac{(-1)^r}{r} \alpha^r \left[\frac{d^r \phi(s)}{ds^r} \right]_{s=\alpha}. \quad (6)$$

Прослідкуємо вплив величин h та l на вигляд матриці перехідної вірогідності. При $h=1$ і $l=3$ ця матриця має вигляд

$$P_{ij} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline k_0 & k_1 & k_2 & \dots & k_{N-1} & k_N \\ \hline 0 & k_0 & k_1 & \dots & k_{N-2} & k_{N-1} \\ \hline 0 & 0 & k_0 & \dots & k_{N-3} & k_{N-2} \\ \hline k_0 & k_1 & k_2 & \dots & k_{N-1} & k_N \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline 0 & 0 & 0 & \dots & k_2 & k_3 \\ \hline \end{array}, \quad (7)$$

а при $h=2$ та $l=1$

$$P_{ij} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline k_0 & 0 & k_1 & 0 & \dots & k_{N/2} \\ \hline k_0 & 0 & k_1 & 0 & \dots & k_{N/2} \\ \hline 0 & k_0 & 0 & k_1 & \dots & \frac{k_{N-1}}{2} \\ \hline 0 & 0 & k_0 & 0 & \dots & \frac{k_{N-1}}{2} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & k_1 \\ \hline \end{array} \quad (8)$$

Зіставлення матриць (7), (8) між собою дозволяє зробити наступні висновки:

1. Величина l визначає число рядків складових підматриць (a , b , v) розкладанні (3).

2. Величина h визначає число рядком нульових елементів матриці, що стоять, причому це число рівне $h-1$.

3. Рівняння системи

$$p_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} p_i, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n,$$

окрім відповідного $j = N$, можна записати так:

$$p_j = \sum_{s=x_1}^k k_s p_{j+1-hs} + \sum_{s=x_2}^k k_2 p_{j-hs} r(1-j+kh-1), \quad (9)$$

де $k = \left[\frac{j}{h} \right]$, $j = 0, 1, \dots, N-1$;

$$x_1 = \left[\frac{j-N+h-1+1}{h} \right] r(j-N+1); \quad (10)$$

$x_2 = \left[\frac{j-1+h}{h} \right] r(j-1+1)$, причому скрізь $j < N$.

Відмітимо, що для випадку $l \geq h$ другий член суми (9) завжди відмінний від нуля. Дійсно, при цьому має місце

$$1 - 1 - \left(j - \left[\frac{j}{h} \right] h \right) \geq 0, \quad r(1 - j + kh - 1) = 1. \quad (11)$$

Приведемо вирази для переходу до вірогідності виду p_i , ($i = 0, 1, \dots, r$), усередненим по усьому часу функціонування Smart-антен в стаціонарному режимі. Інтенсивність точок регенерації

$$\alpha = \frac{\lambda}{p_0 + \lambda / \mu}. \quad (12)$$

Система рівнянь для ймовірностей вигляду $\alpha p_0 - \lambda \bar{p}_0 = 0$;
 $\alpha p_i - \alpha p_{i-1} - \lambda \bar{p}_i = 0, \quad 0 \leq i \leq h$;
 $\alpha p_i - \alpha p_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \lambda \bar{p}_{i-h} = 0, \quad h \leq i \leq r, r = N + 1;$ (13)

$$\lambda \sum_{j=r-h}^{r-1} \bar{p}_j - \alpha p_{r-1} = 0.$$

З рішень цієї системи, враховуючи умову нормування, при конкретних значеннях h і N неважко отримати шукані співвідношення.

Інтенсивність точок регенерації

$$\alpha = \left[\frac{1}{\mu} + \sum_{i=0}^{l-1} \frac{1-i}{\lambda} p_i \right]^{-1}. \quad (14)$$

Відповідну систему рівнянь слід записати як

$$\begin{aligned} -\lambda \bar{p}_0 - \alpha p_0 &= 0; \\ \lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \alpha p_i &= 0, \quad 0 \leq i \leq l; \\ \lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \alpha p_i - \alpha p_{i-1} &= 0, \quad 1 \leq i \leq r-l; \\ \lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda p_i - \alpha p_{i-1} &= 0, \quad r-l \leq i \leq r; \\ \lambda \bar{p}_{r-1} - \alpha p_{r-1} &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

З рішення цієї системи отримуємо:

$$\begin{aligned} \bar{p}_i &= \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=0}^i p_j, \quad 0 \leq i \leq l; \quad \bar{p}_i = \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=i-l+1}^i p_j, \quad l \leq i \leq r-l; \\ \bar{p}_i &= \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=i-l+1}^{r-1} p_j, \quad r-l \leq i \leq r; \quad \bar{p}_r = 1 - \frac{\alpha l}{\lambda}. \end{aligned} \quad (16)$$

Для визначення функції розподілу часу очікування використовуємо формулу повної вірогідності. При цьому виявляється, що вид функції розподілу залежатиме від порядкового номера заявки, що знаходиться в системі, причому можна помітити періодичність величиною h , з якою в систему поступають заявки, що мають в стаціонарному режимі одну і ту ж функцію розподілу часу очікування. Завдання зводиться до знаходження виду функцій $F_{mk}(x)$, де $k = 1, 2, \dots, h$.

Висновки

У даній статті запропоновано оптимізувати вживані в технології WiMax Smart-антени шляхом застосування критерія наведення променя детектора низького типу модуляції (наприклад BPSK). Оскільки в стандарті 802.16 передбачена автоматична зміна типу модуляції при збільшенні відстані до абонента або посиленні перешкод, то немає необхідності повторно проводити вимір співвідношення сигнал/шум. Це дозволить скоротити апаратну частину устаткування базової станції, а значить і її вартість, а також спростить рішення задачі "бесшовності" мережі, оскільки зменшиться час обробки слабких сигналів від видалених абонентів.

На основі принципів і методів математичного моделювання розглянутий алгоритм дослідження таких систем Smart-антен.

Представлений варіант побудови мережі зв'язку на основі технології WiMax із застосуванням оптимізованих Smart-антен. Найважливішою перевагою Smart-антен є можливість адаптації до заводової обстановки і багатопроміневості, що підвищує якість передачі даних, забезпечує зниження енергоспоживання абонентським терміналом і малу вірогідність перехоплення і виявлення.

Список літератури

1. Кучерявий А.Е., Цуприков А.Л. Сети связи следующего поколения// ФГУП ЦНИИС.–2006.–С.58-87.
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Сети мобильной связи LTE технологии и архитектура.–Москва: Ско-Трендз, 2010.–С.120-126.
3. Кучерявий А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявий Е.А. Самоорганизующиеся сети–СПб.:Любавич, 2011.–С.84-96.
4. Вишневецкий В.Энциклопедия WiMax. Путь к 4G./В. Вишневецкий, А. Портной, И. Шахнович.–Москва: Техносфера, 2009.–С.260-273.
5. Леценко О.О. Застосування методів оптимізації в системах управління сучасними телекомунікаційними мережами /О.О.Леценко, Т.В.Майсак // Наукові записки УНДІЗ. – 2013. – № 4 (28). – С. 37-40.
6. Окунев Ю.Б. Цифровая передача информации фазомодулированными сигналами.–Москва: Радио и связь, 1991.–С.64-77.

Надійшла до редколегії 1.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ SMART-АНТЕН ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ WIMAX

О.С. Панкратова

В статье предложено оптимизировать применяемые в технологии WiMax Smart-антенны путем применения критерия наведения луча детектора низкого типа модуляции (например BPSK).

Ключевые слова: система WiMAX, Smart-антенна, функция распределения.

OPTIMIZATION PARAMETERS FOR SMART-АНТЕН WIMAX TECHNOLOGY

O.S. Pankratova

The article offers optimized technologies used in WiMax Smart-antenna by applying the criterion aiming beam detector type low modulation (eg BPSK).

Keywords: system of WiMAX, Smart-antenna distribution function.