

В. В. Кузавков, Г. І. Гайдур, С. А. Серих

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МНОГОСЛОЙНОМ ОБЪЕКТЕ

В статье решается задача по разработке новых технологий обработки информации и принятия решения при локализации неисправных элементов цифровых блоков автономными автоматизированными системами диагностирования с использованием метода собственного излучения.

Ключевые слова: диагностическая информация, метод собственного излучения, радиоэлектронный компонент.

V. V. Kuzavkov, G. I. Gajdur, S. O. Serych

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ELECTRONIC SEMICONDUCTOR COMPONENTS FOR SOLVING THE PROBLEM OF NON-STATIONARY HEAT CONDUCTION IN A MULTILAYER OBJECT

In this article was solved the task of developing new technologies of the process of information and decided the localization of the faulty elements of digital blocks as an autonomous automated systems of diagnostic with using of its own radiosity.

Keywords: diagnostic information; radiosity; radio-electronic components.

УДК 621.396.93

Э. А. СУКАЧЕВ, д-р техн. наук, профессор; А. А. ПОСПЕЛОВА, аспирантка,
Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Исследованы изменения помеховой обстановки при движении мобильной станции в заданном направлении. Дана оценка зависимости отношения сигнал/помеха на входе приемника абонента от количества источников помех, а также обсуждены полученные результаты.

Ключевые слова: подвижная связь; плоская регулярная гексагональная решетка; аффинная система координат; внутрисистемная помеха в соте; отношение сигнал/помеха.

Введение

Применение сотовой структуры при развертывании сетей радиосвязи с подвижными объектами позволяет многократно использовать одну и ту же выделенную полосу частот. Наряду с явным достоинством такой организации мобильной связи — высокой спектральной эффективностью — имеется, однако, весьма существенный ее недостаток, который выражается в наличии взаимных помех между станциями, использующими одинаковые частотные каналы. Подобные помехи, называемые внутрисистемными, бывают двух видов.

К первому относятся помехи, поступающие на вход приемника мобильной станции (МС) от передатчиков базовых станции (БС), расположенных в соседних кластерах, в сотах с совпадающими частотами. Это так называемый *прямой канал*, или *нисходящая линия* (*downlink channel*).

Ко второму виду относятся помехи на входе приемника БС от передатчиков МС, находящихся в соседних кластерах, в сотах с совпадающими частотами. Это так называемый *обратный канал*, или *восходящая линия* (*uplink channel*). Для борьбы с помехами этих двух видов используют увеличение размерности кластера и/или секторизацию антенн базовых станций.

В известных публикациях, например [1; 2], эти помехи исследуются довольно обстоятельно. И все же такой анализ статичен, поскольку выполняется для МС, находящихся на границе соты, т. е. для наилучшего случая. Между тем нередко возникает необходимость изучить характер изменения помеховой обстановки, например в нисходящей линии при движении МС.

Цель статьи — разработка метода анализа изменения помеховой обстановки при движении МС по заданной траектории и демонстрация этого метода на конкретном примере.

Анализ изменения отношения сигнал/помеха при движении мобильной станции в соте по прямолинейной траектории

При проектировании сотовых сетей подвижной радиосвязи (СПР) предварительно выбирают радиус R соты и размерность K кластера, а затем на карте города вычерчивают *плоскую регулярную гексагональную решетку*, покрывающую всю зону обслуживания [3].

Каждая МС свободно перемещается по территории обслуживания, в результате чего уровни полезного сигнала и внутрисистемных помех на входе приемника абонента непрерывно изменяются. Отношение сигнал/помеха (C/P) можно рассчитать, если известны технические характеристики приемопередаю-

щого обладнання, параметри траси і відстані від МС до передатчика «своїй» базової станції BC_0 , а також до джерел шумів від передатчиків $BC_i, i = 1, 2, \dots, 6$. Задача стає повністю коректною, якщо ввести афінну (косокутну) систему координат, яка адекватна сотовій організації зони обслуговування.

Для дослідження динаміки шумової обстановки в конкретній соті її центр зводять до початку косокутної системи координат точкою O таким чином, щоб осі координат Ox і Oy були перпендикулярні сусіднім сторонам шестикутника. Кут між осями дорівнює 60° .

Топологію мережі, що складається з семи сот, ілюструє рис. 1. Для визначеності припускаємо розмірність кластера $K = 1$, коли кожен кластер складається з однієї комірки, що характерно для технології CDMA.

В якості одиниці масштабу в косокутній системі координат цілорозумно прийняти відстань H між центрами сусідніх комірок, рівне $R\sqrt{3}$. Для спрощення обчислень зазвичай вводять нормівку, що передбачає ділення всіх відстаней на величину H . В такій нормованій системі координат радіус соти $R_n = R/(R\sqrt{3}) = 1/\sqrt{3}$. Для переходу до абсолютних одиниць довжини будь-яке відносне відстання необхідно помножити на $R\sqrt{3}$.

З урахуванням вказаної нормівки координати кутових точок центральної соти можуть бути записані наступним чином:

$$A(1/3, 1/3), B(-1/3, 2/3), C(-2/3, 1/3), \\ D(-1/3, -1/3), E(1/3, -2/3), F(2/3, -1/3).$$

В косокутній системі координат відстань між точками з координатами $A(x_A, y_A)$ і $B(x_B, y_B)$ визначається за формулою [3]:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (x_A - x_B) \cdot (y_A - y_B) + (y_A - y_B)^2}. \quad (1)$$

Уравнение прямої, що проходить через точки A і B , має вигляд:

$$y = k(x - x_A) + y_A, \quad k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}. \quad (2)$$

Одним з найбільш відповідальних етапів побудови моделі ССПР є визначення характеру поширення радіохвиль в зоні обслуговування. Він визначається рельєфом місцевості, висотою будівель, густотою забудови і іншими факторами. Зазвичай при обчисленнях користуються відомими співвідношеннями для вільного простору або двохлучового поширення. Широко застосовується також емпірична формула Окамури-Хатти [1; 4].

Мощність сигналу на вході приймача МС можна розрахувати, використавши наступне вираження [3]:

$$P_{прМС} = \alpha_0 r^{-n}, \quad (3)$$

де α_0 — коефіцієнт пропорційності, що залежить від технічних характеристик прийомопередаючого обладнання МС і BC_0 , $\alpha_0 = P_{пер BC_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$; $P_{пер BC_0}$ — потужність на виході передатчика BC_0 ; G_1, G_2 — коефіцієнт посилення антени відповідно BC_0 і МС; r — відстань між МС і BC_0 (див. рис. 1), що залежить від координат МС; n — показник ослаблення сигналу, що враховує особливості траси.

Показник затухання радіохвиль в (3) приймає наступні значення: $n = 2$ — в вільному просторі; $n = 4$ — при поширенні над плоскою поверхнею землі (двохлучова модель). Можна показати [4], що в моделі Окамури-Хатти для типових значень параметрів сотової мережі цей показник теж близький до $n = 4$. В наступних розрахунках будемо вважати, що умови поширення для сигналів і шумів однакові і $n = 4$.

Вважаємо, що МС переміщується в межах центральної соти по лінії BF , як показано на рис. 1. Оскільки відомі початок і кінець траєкторії руху МС, т. є. координати точок B і F , то згідно (2) рівняння лінії BF має вигляд:

$$k = -1, \quad y_M = -x_M + 1/3, \quad -1/3 \leq x_M \leq 2/3.$$

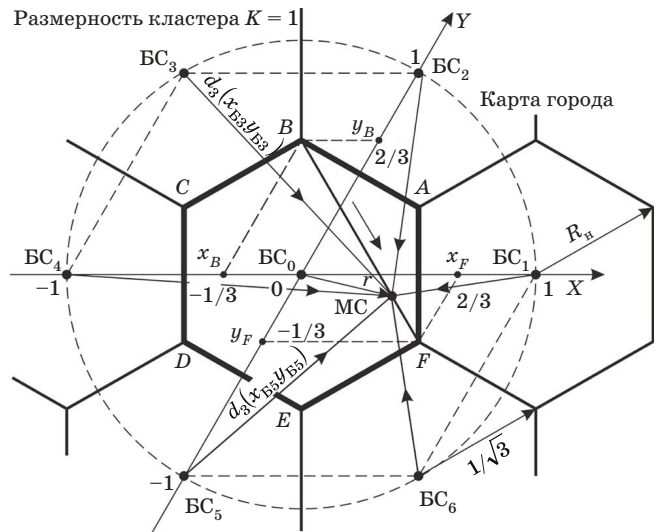


Рис. 1. Траєкторія руху мобільної станції

Пусть $\{x_M; y_M\}$ и $\{0; 0\}$ — координаты соответственно МС и БС₀. Тогда расстояние r между приемником абонента и передатчиком БС в центральной соте на основании (1) представляется в виде

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2}. \quad (4)$$

Кроме полезного сигнала от БС₀ на вход приемника МС поступают помехи от передатчиков БС_{*i*}, расположенных в соседних кластерах (см. рис. 1). Расстояние между БС_{*i*}, создающей помехи, и приемником абонента согласно (1) определяется так:

$$d_i(x_M, y_M; x_{B_i}, y_{B_i}) = \sqrt{(x_M - x_{B_i})^2 + (x_M - x_{B_i})(y_M - y_{B_i}) + (y_M - y_{B_i})^2} = \sqrt{K + r^2 - x_M(2x_{B_i} + y_{B_i}) - y_M(x_{B_i} + 2y_{B_i})}, \quad i = 1, \dots, 6, \quad (5)$$

где x_M, y_M — координаты МС; K — размерность кластера; r — расстояние между МС и БС₀, определяемое по формуле (4); x_{B_i}, y_{B_i} — координаты БС_{*i*} в нормированной косоугольной системе координат.

Легко проверить, что координаты БС_{*i*} связаны с размерностью K кластера соотношением

$$K = x_{B_i}^2 + x_{B_i} y_{B_i} + y_{B_i}^2, \quad i = 1, \dots, 6.$$

Координаты источников помех БС_{*i*} для различных значений K приведены в таблице.

По аналогии с (3) мощность внутрисистемной помехи на входе приемника МС от i -й БС определяется следующим образом:

$$P_{ПВ_i} = \alpha_i d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{B_i}, y_{B_i}), \quad i = 1, \dots, 6, \quad (6)$$

где α_i — нормирующий коэффициент для i -го направления.

Тогда отношение С/П на входе приемника движущегося абонента можно записать как

$$\rho^2(x_M) = \frac{P_{прМС}(x_M)}{\sum_{i=1}^N P_{ПВ_i}(x_M)}.$$

Если предположить, что технические данные приемопередающего оборудования ССПР, влияющие на энергетический потенциал линии, во всех сотах одинаковы, то $\alpha_0 = \alpha_i = \alpha$. В этом случае на основании (3) и (6) получаем расчетную формулу для определения отношения С/П на входе приемника МС:

$$\rho^2(x_M) = \frac{r^{-4}(x_M)}{\sum_{i=1}^N d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{B_i}, y_{B_i})}, \quad N = 1, 2, \dots, 6. \quad (7)$$

Подставляем уравнение прямой BF в (4) и (5), что дает возможность переписать выражение (7) в виде

$$\rho_i^2(x_M) = \frac{\left(x_M^2 - \frac{1}{3}x_M + \frac{1}{9}\right)^{-2}}{\sum_{i=1}^N \left[1 + x_M^2 - \frac{1}{3}x_M + \frac{1}{9} - x_M(2x_{B_i} + y_{B_i}) - x_M(x_{B_i} + 2y_{B_i})\right]^{-2}}, \quad -1/3 \leq x_M \leq 2/3, \quad N = 1, 2, \dots, 6. \quad (8)$$

Результаты расчетов в среде MATLAB по формуле (8) приведены на рис. 2.

Три сплошные кривые иллюстрируют изменение отношения С/П на входе приемника абонента при движении МС от B к F . В каждом случае учитывается помеха от одной базовой станции — БС₁, БС₂ или БС₃. Штриховая линия отражает характер изменения помеховой обстановки при совместном воздействии всех трех источников помех.

Как видим, рис. 2 позволяет легко вычислить отношение С/П на входе приемника МС, когда станция находится в точке B (см. рис. 2, кривая 1). В самом деле, расстояние между МС и БС₀ равно радиусу соты, т. е. $r = R_H$. Расстояние до источника помех равно удвоенному радиусу соты, т. е. $d_1(x_B, y_B; x_{B_1}, y_{B_1}) = 2R_H$. Поэтому согласно (7)

$$\rho^2(x_B) = \frac{r^{-4}(x_B)}{d_1^{-4}(x_B, y_B; x_{B_1}, y_{B_1})} = \frac{R_H^{-4}}{(2R_H)^{-4}} = 2^4.$$

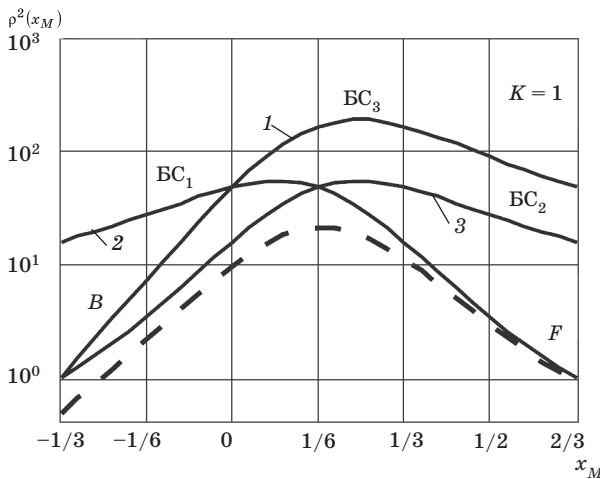


Рис. 2. Графічне представлення в середі MATLAB результатів розрахунку залежності С/П від положення джерела завади (BF — траєкторія руху мобільної станції)

БС, створюючої завади. Функції $\rho_i^2(x_M)$ мають чітко виражений максимум, який, однак, не збігається з $x_M = 1/6$, коли $r = r_{\min}$, т. е. відстань між МС і БС₀ мінімальна, а потужність корисного сигналу максимальна.

Відношення С/П досягає максимального значення 22,8 дБ, коли заваду створює БС₃. Це відбувається в точці з координатами МС $(-0,23; 0,10)$. Діапазон змін відношення С/П коливається від 22,8 дБ (крива 3) до 17,4 дБ (криві 1 і 2).

2. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завади функція $\rho^2(x_M)$ (штрихова лінія), послідовно змінює свої властивості: симетрія стає більш вираженою, максимум стає більш вираженим і переміщується до координати $x_M = 1/6$. Повна симетрія досягається, коли працюють всі шість базових станцій в сусідніх сотах. В цьому випадку $\rho_{\max}^2 = 12,35$ дБ, $\rho_{\min}^2 = -3,35$ дБ, а діапазон змін відношення С/П становить 15,7 дБ.

3. Практично на всьому протязі маршруту $\rho^2(x_M) > \rho_{\text{доп}}^2$, що забезпечує необхідне якість обслуговування абонентів для стандартів CDMA ($\rho_{\text{доп}}^2 = -13$ дБ) і GSM-900 ($\rho_{\text{доп}}^2 = 9$ дБ). Виняток становлять ділянки поблизу меж сот, де для стандарту GSM-900 відношення С/П нижче допустимого. Якщо з таким станом миритися неможливо, то необхідно застосовувати секторизацію сот або збільшувати розмір кластера [2; 3].

Література

1. *Маковеева, М. М. Системи зв'язу з рухомими об'єктами: навч. посібник для вузів / М. М. Маковеева, Ю. С. Шинаков. — М.: Радио и связь, 2002. — 440 с.*
2. *Феер, К. Безпроводна цифрова зв'язь. Методи модуляції та розширення спектра / К. Феер; пер. з англ. — М.: Радио и связь, 2000. — 520 с.*
3. *Сукачев, Э. А. Сотові мережі радіозв'язу з рухомими об'єктами: навч. посібник / Э. А. Сукачев: [3-е изд., испр. и доп.]. — Одеса: ОНАС ім. А. С. Попова, 2013. — 256 с.*
4. *Смирнов, Н. И. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні їх розташування / Н. И. Смирнов, Ю. А. Караваев, В. А. Сивов // Електросв'язь. — 2001. — № 10. — С. 30–33.*

Е. О. Сукачев, А. А. Поспелова

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНЮВАННЯ ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ ПІД ЧАС РУХУ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Досліджено зміни завадОВОЇ обстановки під час руху мобільної станції в заданому напрямі. Дано оцінку залежності відношення сигнал/завада на вході приймача абонента від кількості джерел завад, а також обговорено здобуті результати.

Ключові слова: рухомий зв'язок; плоска регулярна гексагональна решітка; афінна система координат; внутрішньосистемна завада у стільниковій мережі; відношення сигнал/завада.

Е. А. Sucachov, А. А. Pospelova

RESEARCH INTO SIGNAL INTERFERENCE RATIO WHILE A MOBILE STATION IS MOVING

This article focuses on the calculation of the signal-interference ratio at the receiver of downlink channel when user moves along a given trajectory. SIR dependence upon interference sources number is estimated and obtained results are discussed.

Keywords: mobile communication; flat regular hexagonal lattice; affine coordinate system; intra-system interference in a cellular network; signal/interference ratio.