

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

© 2010 Ю.Б. Камалов¹, М.Н. Служивый²

¹ “СМАРТС Ульяновск-GSM”, филиал ЗАО “СМАРТС”, г. Ульяновск

² Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 14.05.2010

В работе представлены результаты исследования корреляционных свойств задержек отдельных лучей, принимаемых на подвижном терминале путем имитационного моделирования, а также характеристик многолучевого сигнала на пространственно разнесенных антеннах, установленных на мобильной станции, перемещающейся с ускорением в условиях городской застройки. Проведено исследование взаимной корреляции огибающей замираний на пространственно разнесенных антеннах. Показано, что корреляционная функция огибающей имеет неэкспоненциальный характер и убывает с уменьшением скорости мобильного терминала. Выполнен анализ влияния конфигурации зданий и параметров перемещения мобильного терминала на погрешность определения местоположения в условиях многолучевости. Показано, что ошибка определения местоположения снижается с уменьшением среднего расстояния между рассеивателями и мобильным терминалом.

Ключевые слова: имитационное моделирование, многолучевой сигнал, разнесенные антенны.

В настоящее время имеет место интенсивное развитие сетей мобильной связи. Одной из услуг в подобных системах является услуга определения местоположения (ОМ) мобильного абонента. При этом для развития услуг в системах новых поколений (3G и 4G), связанных с местоположением абонентов (навигационные, помощь при авариях, срочная медицинская помощь, справочные услуги и т.п.), требуется повышение точности определения географических координат мобильной станции (МС).

В существующих мобильных системах для ОМ используются преимущественно системы глобального позиционирования: GPS (Global Positioning System) и ГЛОНАСС [1]. Однако подобные системы требуют значительного усложнения абонентского терминала, что вызывает существенные финансовые затраты. В связи с этим необходимы разработка и внедрение новых методов определения местоположения МС на основе дополнительных возможностей сетей цифровой сотовой связи.

Анализ публикаций последних лет [1-5] показал, что в ряде случаев более рациональным и менее затратным является использование информации о местоположении, получаемой с базовых станций (БС). В связи с этим исследование эффективности алгоритмов оценивания погрешностей определения местоположения абонента с использованием БС представляется

весьма актуальным. Наряду с этим, значительный практический интерес представляет анализ характеристик сигналов, принимаемых на мобильном терминале, перемещающемся в условиях мегаполиса с переменной скоростью.

В настоящей работе представлены результаты имитационного моделирования систем сотовой мобильной связи, работающих в условиях городской застройки. Вначале представлены результаты имитационного моделирования движения мобильного абонента, перемещающегося, в общем случае, с переменной скоростью (с ускорением) в условиях мегаполиса и проведено исследование корреляционных свойств задержек отдельных лучей, принимаемых на подвижном терминале. Затем проведен анализ корреляционных свойств замираний при пространственном разнесении приемных антенн для мобильной станции (МС), движущейся с различными ускорениями. В заключительной части работы представлены зависимости погрешностей ОМ на основе измерений времени прихода сигналов с трех БС в зависимости от среднего расстояния до ближайших рассеивателей или отражателей (зданий) при различных параметрах перемещения абонента.

Анализ корреляции задержек лучей в многолучевом канале на подвижной МС является одной из актуальных задач в области подвижных систем связи является задача качественного приема сигнала терминалом подвижного абонента, перемещающегося со значительной скоростью в условиях городской застройки [3, 4]. Фактором, существенно препятствующим качественному

Камалов Юрий Борисович, начальник отдела.

E-mail: nap@ulstu.ru.

Служивый Максим Николаевич, кандидат технических наук, доцент

приему является многолучевость, возникающая за счет множества переотражений сигнала от зданий и других объектов и выраженная в наличии временного рассеяния сигнала. Значительный интерес для практики представляет построение математической модели задержек сигнала, что является актуальным для систем связи, использующих адаптивные антенные решетки для разделения лучей [3].

В данной части работы представлены результаты имитационного моделирования движения мобильного абонента, перемещающегося, в общем случае, с переменной скоростью (с ускорением) в условиях мегаполиса. Проведено исследование корреляционных свойств задержек отдельных лучей, принимаемых на подвижном терминале. Показано, что нормированная корреляционная функция (КФ) относительных задержек (относительно прямого луча с базовой станцией) имеет неэкспоненциальный характер и может быть описана функцией:

$$R(\tau) = \exp(-\beta\tau^\alpha), \quad (1)$$

где $\alpha = 1 \dots 2$.

Конфигурация городской застройки, заложенная в имитационную модель, представляет собой три здания, расположенные на расстоянии 20...50 м от шоссе и разнесенные вдоль шоссе на расстояния 200...500 м. Транспортное средство (автомобиль) перемещается по закону

$$x(t) = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2},$$

где $x_0 = 0$ – начальная координата, $v_0 = 0$ – начальная скорость, a – ускорение [м/с²]. После

достижения некоторой скорости V абонент перемещается с постоянной скоростью V весь оставшийся путь.

На рис. 1 представлены зависимости нормированной КФ относительной задержки лучей при $V = 22$ м/с (80 км/ч) и $a = 2$ м/с². При этом кривая 1 может быть аппроксимирована выражением (1) с параметрами $\beta = 0.0035$, $\alpha = 1.2$, кривая 2: $\beta = 0.0023$, $\alpha = 1.2$, кривая 3: $\beta = 0.0016$, $\alpha = 1.15$.

На рис. 2 представлены зависимости нормированной КФ относительной задержки лучей при $V = 40$ м/с (144 км/ч) и $a = 3$ м/с². При этом кривая 1 может быть аппроксимирована выражением (1) с параметрами $\beta = 0.004$, $\alpha = 1.25$, кривая 2: $\beta = 0.0028$, $\alpha = 1.25$, кривая 3: $\beta = 0.002$, $\alpha = 1.2$.

Из сравнения рис. 1 и рис. 2 можно сделать вывод, что с увеличением ускорения корреляция задержек уменьшается. При этом наибольший спад имеет КФ для задержки луча, отраженного от ближайшего к абоненту здания.

Значительный интерес для практики также представляет анализ корреляционных свойств замираний при пространственном разнесении приемных антенн для мобильной станции (МС), движущейся с различными ускорениями.

Сигнал, принимаемый на МС, может быть представлен в следующем общем виде [4]:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i a_i \exp[j(\omega_0 t + \varphi_0 - \beta V t \cos \theta_i + \varphi_i)] = A_i \exp(j\psi_i) \exp[j(\omega_0 t + \varphi_0)]$$

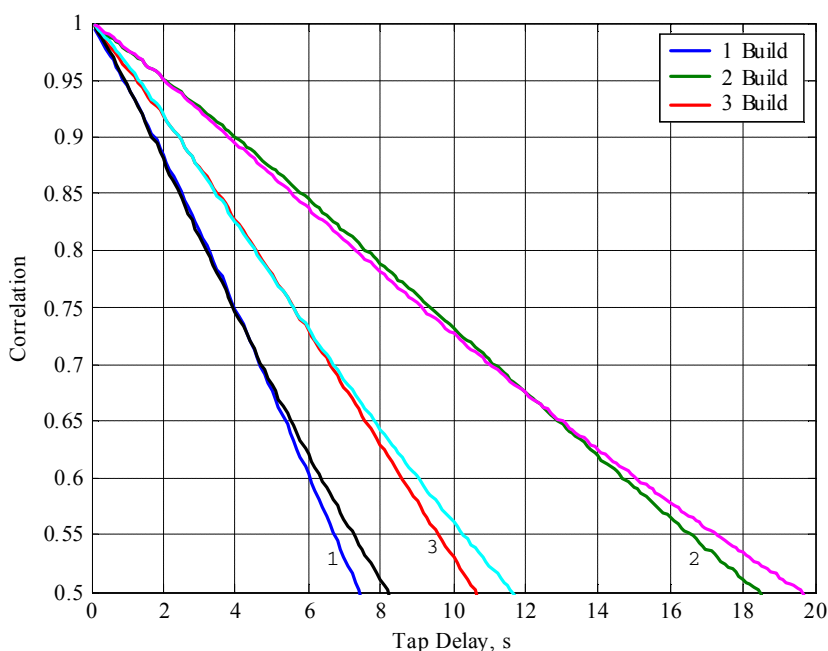


Рис. 1. Нормированная КФ задержек лучей при $V = 22$ м/с (80 км/ч) и $a = 2$ м/с²

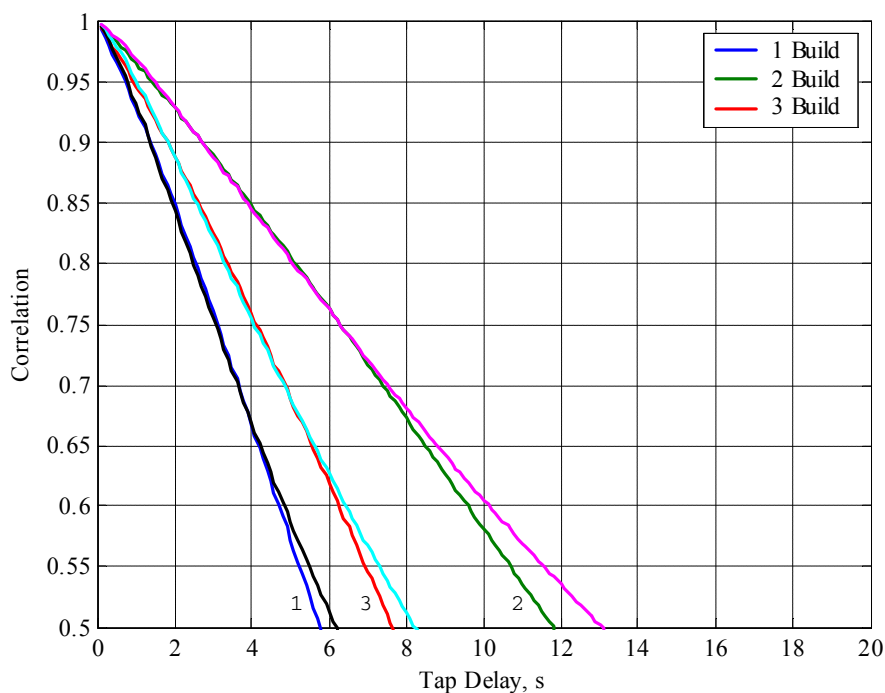


Рис. 2. Нормированная КФ задержек лучей при $V = 40$ м/с (144 км/ч) и $a = 3$ м/с²

где $A_t = \left[\left(a_0 \sum_{i=1}^N a_i \cos \psi_i \right)^2 + \left(a_0 \sum_{i=1}^N a_i \sin \psi_i \right)^2 \right]^{1/2}$ –

результатирующая огибающая принятого сигнала;

$\psi_i = \tan^{-1} \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \psi_i}{\sum_{i=1}^N a_i \cos \psi_i}$ – результатирующая фаза

принятого сигнала; $\psi_i = \varphi_i - \beta V t \cos \theta_i$, $\beta = 2\pi/\lambda$ – величина, обратная длине волны; V – скорость мобильной станции; θ_i – угол прихода луча на мобильную станцию.

Конфигурация городской застройки, заложенная в имитационную модель, представляет собой три здания, расположенные на расстоянии 20...50 м от шоссе и разнесенные вдоль шоссе на расстояния 200...500 м. Транспортное средство (автомобиль) перемещается по закону

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2},$$

где $x_0 = 0$ – начальная координата, $v_0 = 0$ – начальная скорость, a – ускорение [м/с²]. После достижения некоторой скорости V абонент перемещается с постоянной скоростью V весь оставшийся путь.

На рис. 3 представлены зависимости нормированной КФ относительной задержки лучей при

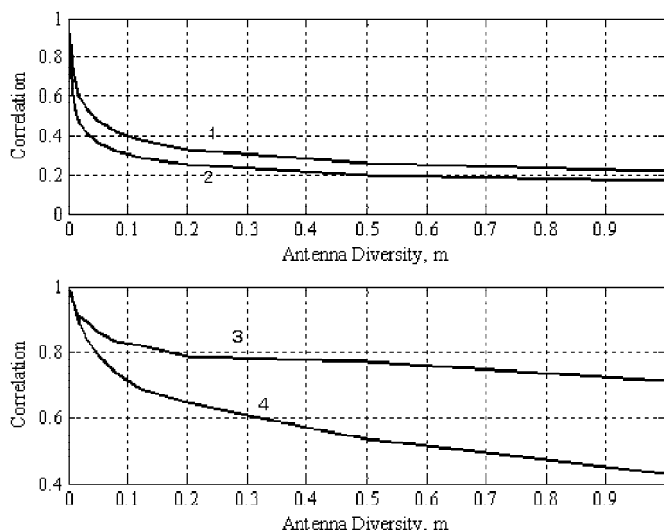


Рис. 3. Нормированная КФ замираний при ускорении движения $a = 2$ м/с²

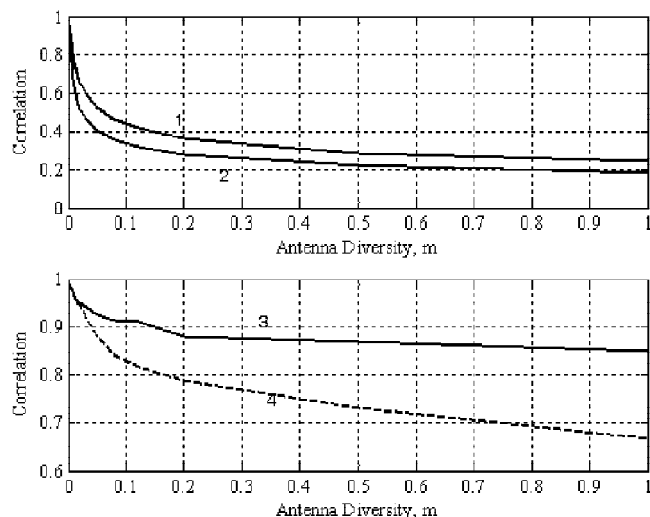


Рис. 4. Нормированная КФ замираний при ускорении движения $a = 3 \text{ м/с}^2$

$a = 2 \text{ м/с}^2$. При этом кривые 1 и 3 описывают, соответственно, корреляцию огибающей A_r и фазы ψ_r замираний в ветвях разнесения, расположенных в одной плоскости с направлением движения МС, а кривые 2 и 4 – соответственно, корреляцию огибающей A_r и фазы ψ_r замираний в случае, когда ветви разнесения расположены в плоскости, перпендикулярной направлению движения МС. По оси абсцисс отложено значение расстояния между разнесенными антеннами (в метрах).

На рис. 4 представлены зависимости, аналогичные рис. 3 для случая $a = 3 \text{ м/с}^2$. Несущая частота сигнала принята равной 2.4 ГГц.

Из сравнения рис. 3 и рис. 4 можно сделать вывод, что с увеличением ускорения корреляции огибающей и фазы замираний в ветвях разнесения увеличиваются. При этом огибающая замираний в антеннах имеет уже достаточно слабую корреляцию (порядка 0.4...0.6) при разнесении антенн на расстояние, равное половине длине волны. Подобный анализ ранее проводился в работе [4], однако без учета ускорений движения МС.

Задача качественного анализа погрешностей ОМ является весьма сложной в силу наличия множества случайных факторов, таких как расположение зданий и сооружений, вызывающих множество переотражений (многолучевость), а также перемещения абонента. Результаты данной работы, получены путем усреднения измерений для множества различных конфигураций трех зданий и случайных местоположений абонента в пределах некоторой зоны внутри треугольника, образуемого этими зданиями. При этом предполагалось полное затенение МС, т.е. отсутствие прямой видимости (NLOS – Non-Line-of-Sight) между каждой БС и МС.

Проведен анализ погрешностей определения местоположения МС на основе измерений времени прихода сигналов с трех БС в зависимости от среднего расстояния до ближайших рассеивателей

или отражателей (зданий) с использованием гиперболического и кругового методов ОМ. В качестве параметра присутствует величина σ среднего значения перемещения абонента между сеансами ОМ. В известных работах отсутствуют данные о взаимосвязи математических моделей перемещения абонента и соответствующих ошибок ОМ, что является предметом будущих исследований.

На рис. 5 представлены зависимости погрешности определения местоположения Err, m (в метрах) от среднего расстояния до рассеивателей (зданий или сооружений) при различных перемещениях МС (параметр sigma, в метрах). Моделирование проводилось при различных конфигурациях совокупности трех зданий-отражателей. При этом не учитывались повторно переотраженные лучи, т.е. от здания к зданию, а затем на МС, наличие которых может существенно снизить точность местоопределения, как показали эксперименты на имитационной модели.

Таким образом, результаты первой части работы могут найти применение при разработке и практической реализации оптимальных алгоритмов предсказания и оценивания характеристик сигнала на подвижном объекте, для чего данные математические модели необходимо представить в рекуррентном виде (например, авторегрессии-скользящего среднего), что позволит синтезировать оптимальные алгоритмы оценивания текущих изменений задержек лучей и автоматически корректировать характеристики системы оценивания параметров лучей в таких системах как, например, RAKE-приемник.

Во второй части работы представлены результаты имитационного моделирования приема многолучевого сигнала на пространственно разнесенных антеннах мобильного абонента, перемещающегося, в общем случае, с переменной скоростью (с ускорением) в условиях мегаполиса. Проведено исследование взаимной корреляции

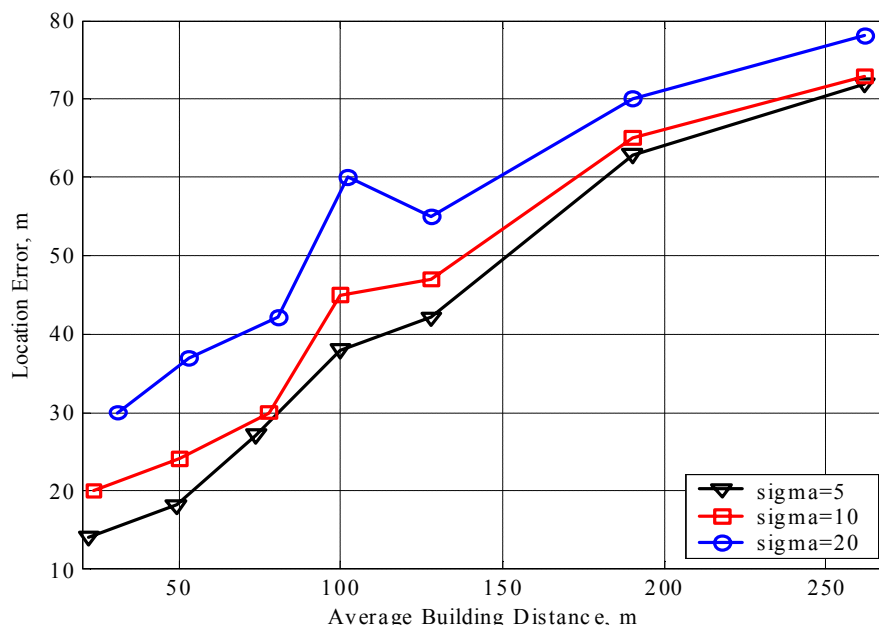


Рис. 5. Зависимости погрешности ОМ от среднего расстояния между зданиями и МС

значений огибающей замираний в различных ветвях разнесения на одной МС. Показано, что нормированная взаимная корреляционная функция огибающей имеет неэкспоненциальный характер и уменьшается при уменьшении ускорений движения мобильной станции. Данные результаты могут быть полезными при проектировании мобильных систем связи и, в частности, при выработке рекомендаций относительно параметров разнесения антенн на МС.

Результаты третьей части работы могут быть использованы при проектировании перспективных мобильных систем с услугой ОМ и позволят дать рекомендации относительно погрешностей ОМ в различных условиях городской застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А. Технологии определения местоположения в GSM и UMTS: Учебное пособие. М.: Эко-Трендз, 2005. 144 с.
2. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. М.: Эко-Трендз, 2005. 392 с.
3. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи / Пер. с польск. И.Д.Рудинского [под ред. А.И.Ледовского]. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 536 с.
4. Lee W.C.Y. Mobile Communications Engineering: Theory and Applications. Second Edition. The McGraw-Hill Companies, Inc., 1998. – 690 p.
5. Caffery J., Stuber G.L. Subscriber Location in CDMA Cellular Networks // IEEE Trans. on Vehicular Technology. May 1998. Vol. 47. No.2. P.406-415.

COMPUTER SIMULATION OF MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS OPERATING IN AN URBAN AREA

© 2010 Yu.B. Kamalov¹, M.N.Sluzhiviyi²

¹“SMARTS Ulyanovsk-GSM” Branch of Close Corporation “SMARTS”, Ulyanovsk
² Ulyanovsk State Technical University

In the present work analysis of correlation properties of single paths of multipath signal and its other parameters on spatial diversity antennas for mobile station moving with alternate speed (with acceleration) in an urban area by means of simulation are given. An investigation of fading envelope cross-correlation in spaced antennas of one mobile station has been made. It is shown that normalized cross-correlation function of fading envelope and phase has non-exponential nature and decreases with reduction of mobile station acceleration. An analysis of influence of building configuration and mobile station position change in an urban area on mobile subscriber location error when multipath signal arrives from several directions is carried out. It is shown that location error decreases with reduction of average distance between scatterers and mobile station.

Key words: computer simulation, multipath signal, diversity antennas.

Yuri Kamalov, Head of Department. E-mail: nap@ulstu.ru.
 Maxim Sluzhiviy, Candidate of Technics, Associate Professor