

Рис. 9. Суммарная зона покрытия группировки ТВ-передатчиков ДМВ-диапазона в Краснодарском крае

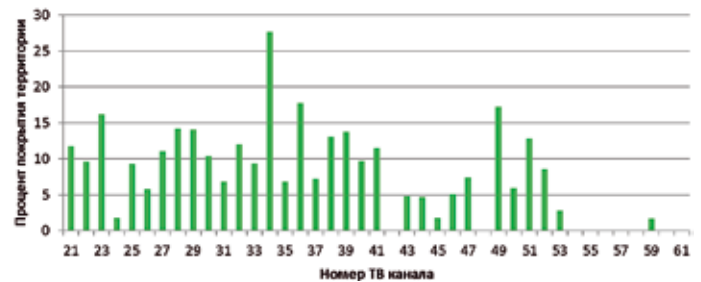


Рис. 10. Доля покрытия,%, территории Краснодарского края зонами вещания ТВ-передатчиков ДМВ-диапазона

- ведение информации о территориальных районах и полосах частот, подверженных помеховым воздействиям; ведение БД радиопомех;

- ведение библиотеки цифровых векторных карт местности различных масштабов (включая матрицы, характеризующие плано-высотную основу и типы подстилающей поверхности региона) на территорию РФ;

- специальное математическое и программное обеспечение решения задач оценки занятости РЧС, расчета зон действия РЭС, оценки ЭМС РЭС.

В качестве примера на рис. 7–10 приведены результаты анализа занятости радиочастотного ресурса в Краснодарском крае в полосах частот 470–490 МГц радиовещательной службы, полученные в ИП ФАИС, для оценки возможности использования когнитивных радиосистем в соответствующих полосах радиочастот.

Заключение. Результаты анализа показывают, что в среднем ТВ-передатчики на одном частотном канале используют порядка 15% территории Краснодарского края. Таким образом, для СКР потенциально может быть задействована значительная территория Краснодарского края. Вместе с тем необходимо отметить, что зоны действия ТВ-

передатчиков покрывают территорию регионов, где плотность населения наиболее высокая.

Автоматизированные системы ИП ФАИС, ФАИС и АСРК-РФ позволяют проводить аналогичные расчеты для любого территориального района РФ в онлайн-режиме.

Представленные результаты и данные анализа функциональных возможностей федеральных автоматизированных систем ФАИС, ИП ФАИС, АСРК-РФ наглядно демонстрируют потенциал систем когнитивного радио.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет МСЭ-R SM.2152. Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS).
2. Пастух С. Ю., Володина Е. Е., Девяткин Е. Е., Гасс Я. М. Современные подходы к созданию специальных баз данных для автоматизированных систем управления когнитивными радиосистемами // Электросвязь. — 2012. — № 1. — С. 26–29.
3. Рабочий документ к проекту Справочника по перспективам внедрения систем когнитивного радио в полосах УВЧ диапазона в странах участников РСС. — РСС, 2014.

Получено 07.08.14

УДК 621.396.2

ПЕЛЕНГАЦИЯ АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ В СОТОВЫХ СЕТЯХ

А. А. Мошкин, аспирант СПбГУТ; saneek@gmail.com

Рассмотрены вопросы определения местоположения абонентских терминалов с использованием ресурсов сотовых сетей связи. Предложен метод локализации, основанный на определении пеленга сигнала, принимаемого мобильным терминалом от базовой станции. Представлены результаты экспериментальных исследований предложенного метода в регионах с различной плотностью базовых станций.

Ключевые слова: сотовые сети, пеленгация, локализация мобильных объектов.

Введение. Определение местоположения (локализация) [1–3] абонентских терминалов (АТ) в сотовых сетях основывается на поэтапном выполнении нескольких измерительных-вычислительных операций (рис. 1).

На первом этапе выполняется измерение параметров принимаемых сигналов, необходимых для локализации АТ. Параметров измеряемых электромагнитных сигналов немного: это время прохождения сигнала от передатчика до приемника t , направление принимаемого (передаваемого) сигнала и мощность принимаемого сигнала P .



Рис. 1. Этапы решения задачи локализации

На втором этапе по результатам измерений вычисляются геометрические данные, необходимые для решения уравнений локализации: расстояния между излучающими и приемными устройствами R_x и углы направлений (пеленгов) принимаемых (передаваемых) сигналов.

На третьем этапе определяются координаты АТ на основе решения уравнений локализации.

Точность локализации зависит от отклонения рассчитанных координат АТ от истинных и обусловлена прежде всего погрешностями измерений параметров принимаемых сигналов.

Следует также отметить, что высокая точность глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) на открытых пространствах (при уровнях мощности принимаемых сигналов приблизительно до 125 дБм) базируется на использовании космической сети, состоящей из множества радионавигационных спутников, что подчеркивается названием монографии [4]. В районах со сложной географической инфраструктурой и в крупных городах о точности ГНСС в информационных источниках предпочитают умалчивать, но предлагается ее повысить с помощью множества дополнительных контрольно-корректирующих станций.

В сотовых сетях радиосвязи стандартов GSM, UMTS, LTE аппаратно-программные средства позволяют измерять время распространения сигналов (Timing Advance — TA) между базовой станцией (БС) и АТ с точностью 0,52–1,8 мкс и уровни мощности принимаемых сигналов (Rx Level — RxL; Received Signal Strength — RSS) с погрешностью 3–6 дБм.

Измерения пеленга в сотовых сетях связи. Измерение пеленга или направления прихода сигнала (Direction Finding — DF) основано, как правило, на пространственной избирательности приемных антенн с соответствующими диаграммами направленности. В ряде случаев оценить пеленг можно по двум сигналам от одной БС, если известны диаграммы направленности их передающих антенн (ДНА).

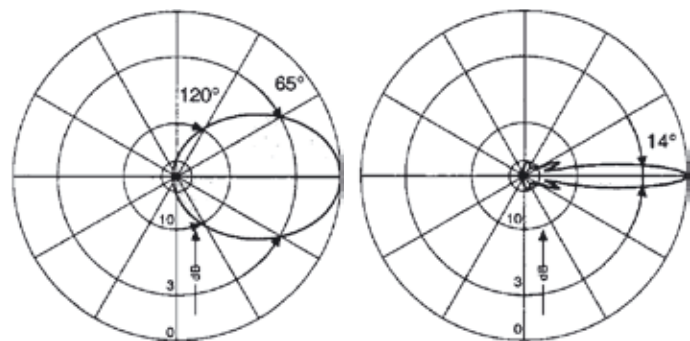
В сотовых сетях стандарта GSM достаточно часто возникает ситуация, при которой можно определить направле-

ние на АТ: например, если АТ измеряет уровни мощности от двух передатчиков A и B , установленных на одной БС, с близкими несущими частотами. При этом на одной мачте устанавливается множество приемопередатчиков, работающих на разных частотах в диапазоне 900 или 1800 МГц с известными мощностью и характеристиками антенн.

В качестве примера рассмотрим направленность излучения антенн БС. В технических характеристиках БС приведены следующие геометрические показатели (рис. 2): H — высота антенны БС; α — азимут антенны в горизонтальной плоскости; β — угол наклона антенны в вертикальной плоскости; θ_h и θ_v — ширина ДНА в горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно.

Диаграммы направленности зависят от коэффициентов усиления антенн G_H , характеризующих концентрацию мощности электромагнитного поля антенн в направлениях, задаваемых их азимутами. Коэффициенты усиления антенн G_H определяются ДНА в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

ДНА выбираются из справочных данных, приводимых производителями конкретных антенн. На рис. 3 в качестве примера показаны ДНА типа К741326 для диапазонов частот 900 и 1800 МГц. Особенность этих антенн — значительно более узкая ширина ДНА в вертикальной плоскости (8° и 14°) по сравнению с ДНА в горизонтальной плоскости (60° и 65°) по уровню 3 дБм.



Горизонтальная плоскость

Вертикальная плоскость

Рис.3. Диаграммы направленности антенны К741326 (870–960 МГц), логарифмический масштаб

В каждой из плоскостей (горизонтальной и вертикальной) ДНА с достаточной для практического применения точностью может быть аппроксимирована следующим комплексным полиномом:

$$Z(\varphi) = \frac{a_0 e^{j\varphi}}{a_0 + a_2 \varphi^2 + a_4 \varphi^4 + a_6 \varphi^6 + a_8 \varphi^8}, \quad \varphi = -\pi \dots \pi. \quad (1)$$

Параметры полинома (1) определяются тремя параметрами ДНА:

- шириной φ_1 по уровню ослабления мощности 3 дБм;
- шириной φ_2 по уровню ослабления мощности 10 дБм;
- шириной φ_3 по уровню ослабления мощности 30 дБм, для большинства антенн равной π .

На рис. 4 представлены результаты аппроксимации ДНА К741326 (870–960 МГц) в горизонтальной плоскости.

Для наглядности на рис. 5 показана зависимость ДНА рассматриваемой антенны T от угла отклонения от азимута φ .

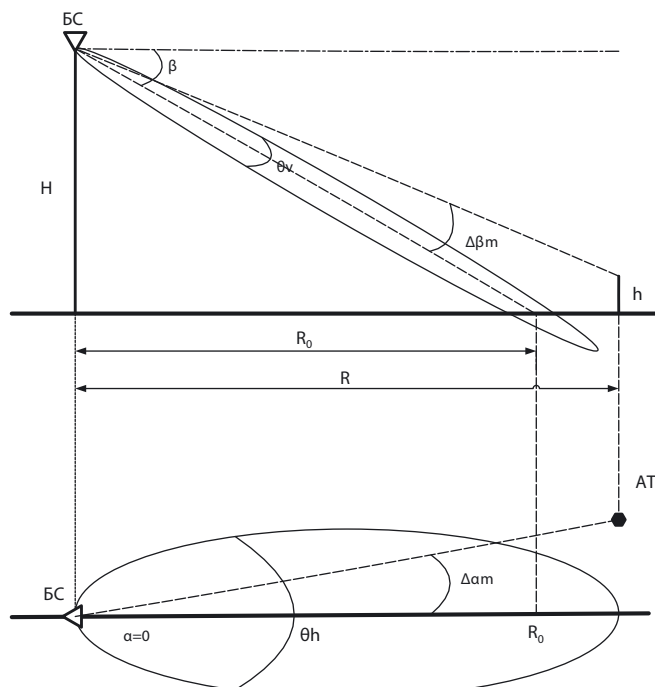


Рис.2. Направленность излучения поля БС

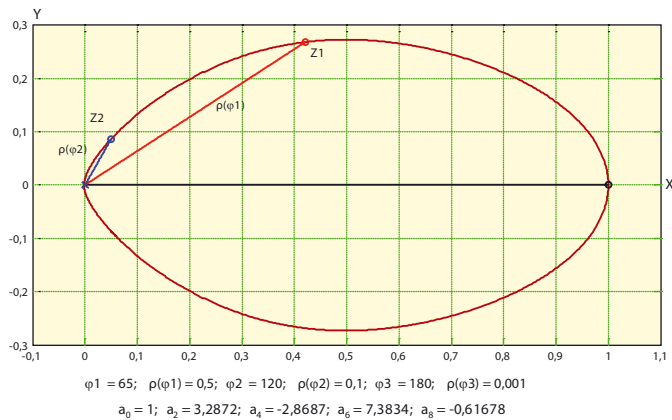


Рис.4. Аппроксимация диаграммы направленности антенны К741326 (870–960 МГц)

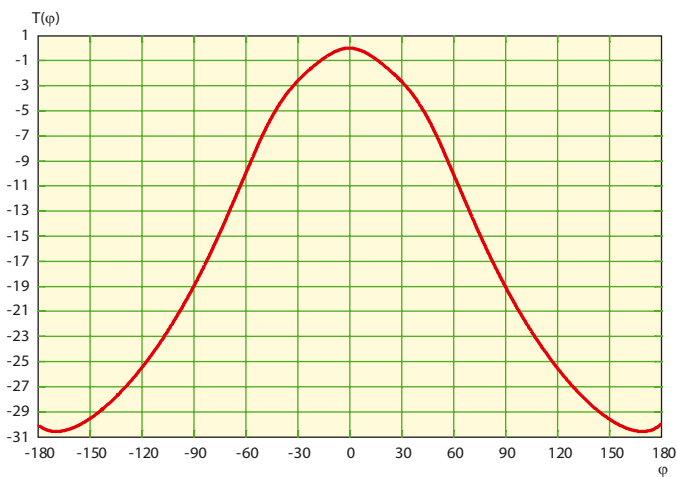


Рис. 5. Развертка диаграммы направленности антенны

Уровень мощности в точке приема RxL оценивается на основе следующего общего соотношения для баланса мощностей

$$P_1 + G_1 + 10 \lg KPH(\Delta\alpha) + 10 \lg KPH(\Delta\beta) - LP(R) - RxL = 0, \text{ дБ}, \quad (2)$$

где P_1 — мощность, подводимая к передающей антенне, дБ; G_1 — коэффициент усиления передающей антенны, дБ; R — расстояние между БС и АТ (см. рис. 3); $KPH(\Delta\alpha)$ — слагаемое влияния ДНА передатчика в горизонтальной плоскости при отклонении угла от азимута на $\Delta\alpha$; $KPH(\Delta\beta)$ — слагаемое влияния ДНА передатчика в вертикальной плоскости при отклонении угла от азимута на $\Delta\beta$; $LP(R)$ — потери мощности на расстоянии R , определяемые выбранной моделью распространения электромагнитного колебания, учитывающей частоту сигнала, особенности местности, высоту передающей и приемной антенн, ДНА приемной антенны и т.п.

В этом случае соотношение (2) можно перевести в систему вида

$$\begin{aligned} RxL_1 &= LP1(R) - P_{11} - G_{11} - \\ &- 10 \lg KPH(\Delta\alpha_1) - 10 \lg KPH(\Delta\beta_1); \\ RxL_2 &= LP2(R) - P_{21} - G_{21} - \\ &- 10 \lg KPH(\Delta\alpha_2) - 10 \lg KPH(\Delta\beta_2), \text{ дБ} \end{aligned} \quad (3)$$

и при условии равенства мощностей передатчиков $P_{11} = P_{21}$, коэффициентов усиления передающих антенн $G_{11} = G_{21}$, одинаковых значениях $KPH(\Delta\beta_1)$ и $KPH(\Delta\beta_2)$ на близких по рабочим частотам каналах $LP1(R) = LP2(R)$ систему (3) преобразовать к виду

$$\begin{aligned} \Delta RxL &= RxL_2 - RxL_1 = \\ &= 10 \lg KPH(\Delta\alpha_2) - 10 \lg KPH(\Delta\alpha_1), \text{ дБ}. \end{aligned} \quad (4)$$

Угол отклонения направления сигнала от азимута передающей антенны $\Delta\alpha$ можно заменить углом отклонения направления сигнала φ от биссектрисы угла между азимутами двух антенн Ψ_0 (рис. 6).

Угол $\varphi = 0$ при $\Delta RxL = 0$ и пеленг совпадает с биссектрисой; при $RxL_1 > RxL_2$ (RxL — отрицательная величина) $\varphi > 0$, при $RxL_1 < RxL_2$ $\varphi < 0$.

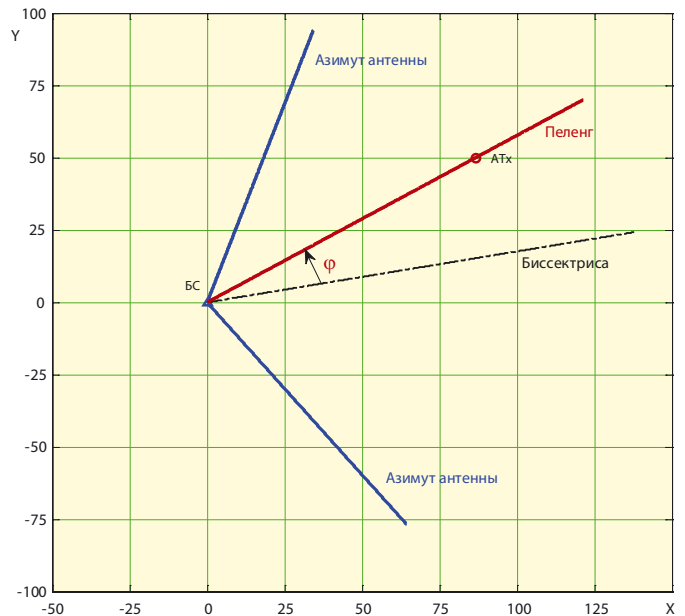


Рис.6. Определение пеленга

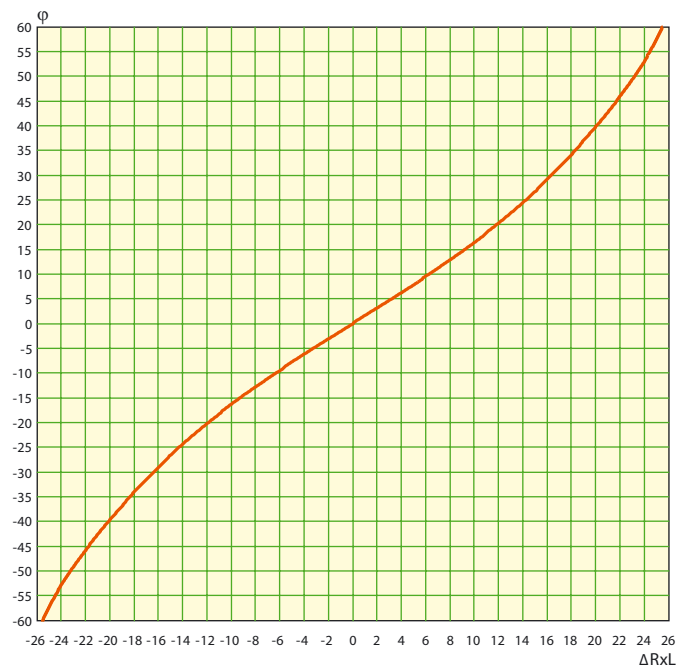


Рис. 7. Зависимость $\varphi(\Delta RxL)$

На рис. 7 отображена функция $\varphi(\Delta R \times L)$ для антенн K741326 при $\Psi_0 = 120^\circ$. Углу $\varphi = 20^\circ$ соответствует $\Delta R \times L = 12$ дБ.

Экспериментальные результаты. Приведем пример определения пеленга в регионах с различной плотностью БС. Регион 1 может характеризоваться как сельская местность (среднее расстояние между базовыми станциями 11297 м); регион 2 — как пригород (среднее расстояние между БС 8107 м); регион 3 является центром мегаполиса (среднее расстояние между БС 602 м). Оценки точности вычисления пеленга представлены в таблице.

Погрешности определения пеленга в различных регионах

Регионы	Расстояние между БС и АТ (R, м)	Погрешность определения $\Delta\varphi$, град
Регион 1	2796	1,0
	2835	2,0
	4896	7,5
Регион 2	2027	3,0
	869	6,7
	1333	2,7
Регион 3	177	21,9
	216	4,5
	113	8,1

Большие значения погрешностей $\Delta\varphi$ в регионе 3 объясняются наличием плотной городской застройки, приводящей к многолучевому распространению сигналов БС.

Далее приводятся экспериментальные результаты локализации АТ с использованием пеленгов.

На рис. 8 отражены данные одного из экспериментов в сети оператора сотовой связи «МегаФон», когда АТ принимает сигналы в диапазоне 900 МГц с уровнями мощности 55 и 60 дБм от двух передающих устройств одной БС

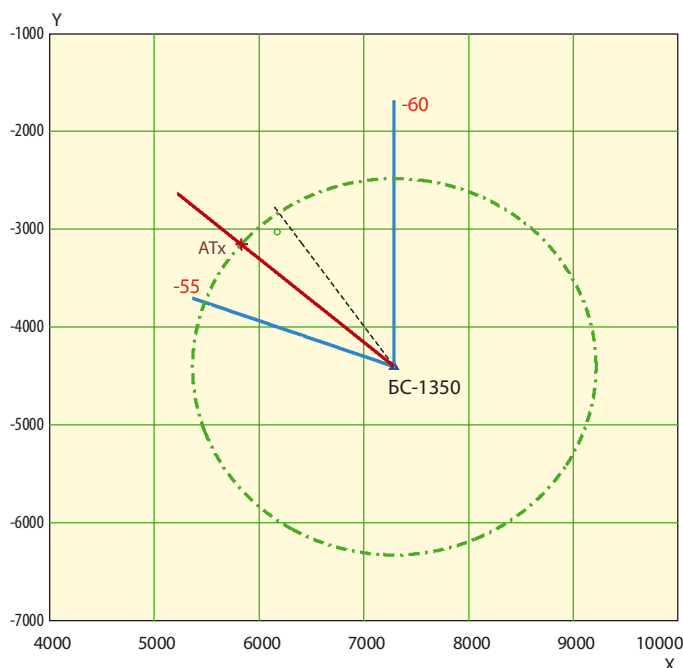


Рис. 8. Локализация АТ с применением пеленга и ТА

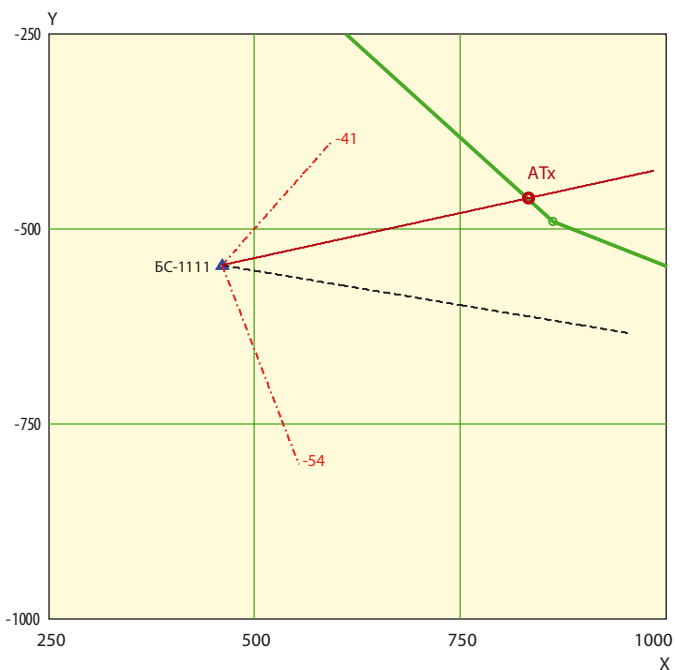


Рис. 9. Локализация АТ методом Road+ DF

(№ 1350), азимуты которых составляют 160° и 90° соответственно. Расстояние до АТ оценивается по времени распространения сигнала ТА с погрешностью ± 275 м.

В сочетании с ошибкой вычисления пеленга в рассматриваемом случае погрешность локализации (точка АТх) составила 310 м.

Еще один эксперимент по локализации проводился с использованием пеленга на автомобильной дороге г. Сестрорецка (рис. 9). Местонахождение сотового телефона, находящегося в пассивном режиме в автомобиле, определяется точкой АТх, отображающей пересечения линий дороги и пеленга; погрешность локализации АТ с использованием БС № 1111 составила 35 м.

Заключение. Метод локализации, основанный на определении пеленга АТ, требует использования сигналов только одной БС и позволяет повысить точность известного метода CELLID — ТА [2]. Для предлагаемого способа, базирующегося на известных характеристиках оборудования сети сотовой связи, знание математической модели распространения электромагнитных колебаний не обязательно.

Относительно низкая точность локализации АТ (по сравнению с ГНСС) определяется использованием только имеющихся аппаратно-программных ресурсов действующих сетей сотовой связи. Однако представленная методика удовлетворяет достаточно большому количеству практических приложений, например, при мониторинге автотранспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith W. Passive Location of Mobile Cellular Telephone Terminals, Security Technology / IEEE International Carnahan Conference. — October 1991.
2. Громаков Ю. А. Технология определения местоположения в GSM и UMTS. — М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2005.
3. Анализ состояния и тенденции развития российского рынка LBS-услуг на основе сетей СПС / Аналитический обзор ЗАО «Современные телекоммуникации». — М., 2007.
4. Шебшаевич В. С. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы, 2 изд. — М.: Радио и связь, 1993.

Получено 04.06.14