

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В СРЕДАХ С МНОГОЛУЧЕВЫМ РАСПРОСТРАНЕНИЕМ РАДИОВОЛН НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.К. Бабушкин, П.Н. Захаров, А.В. Турчанинов, А.Ф. Королев
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Кафедра фотоники и физики микроволн
rk3dov@gmail.com

В работе предложен метод оценки координат источника радиоизлучения в многолучевой среде на основе измерения взаимно корреляционных функций сигналов, принятых в пространственно разнесенных точках. Предложенный метод был проверен экспериментально. Точность метода зависит от ширины полосы сигнала, его применение эффективно для широкополосных сигналов.

Локализация источников радиоизлучения подразумевает определение координат источников по известным параметрам пространственного распределения излучения (решение обратной задачи распространения радиоволн). Методы решения данной задачи существенно различаются в зависимости от типа среды и параметров сигнала [1][2]. Существенные трудности появляются в многолучевых средах, где многочисленные траектории распространения радиоволн приводят к тому, что принимаемый сигнал содержит множество копий переданного сигнала с различными временными задержками (к временной дисперсии).

Целью работы была разработка методов решения обратной задачи распространения радиоволн в многолучевой среде с использованием корреляционной обработки сигналов, а также создание измерительного комплекса для экспериментальной проверки предложенных методов.

Методы решения обратной задачи с использованием измерений параметров электромагнитных полей основываются на предположении о существовании зависимостей вида

$$\mathbf{u} = \mathbf{f}(\mathbf{r}, \mathbf{a}) + \xi$$

связывающих результаты измерения вектора параметров электромагнитных полей \mathbf{u} и координаты точки размещения радиопередатчика $\mathbf{r} = (x, y, z)$ [3]. Функция $\mathbf{f}(\mathbf{r}, \mathbf{a})$ представляет собой модель (прогноз) распространения радиоволн, позволяющую предсказать результаты измерений в заданной точке, \mathbf{a} – вектор параметров модели. В данной работе рассматривается разностно-дальномерный метод локализации. Для данного метода в качестве прогнозируемого параметра выбирается разность временных задержек распространения сигнала τ_{ij} от источника с координатами \mathbf{r} до антенн с координатами \mathbf{r}_i и \mathbf{r}_j

$$\tau_{ij}(\mathbf{r}) = \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| - |\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|}{c'}$$

Здесь c' – эффективная скорость распространения радиоволн в среде.

Разность задержек можно определить путем построения взаимно корреляционной функции (ВКФ) $B(\tau)$ [4] сигналов $s_i(t)$ и $s_j(t)$, принятых одновременно в пространственно разнесенных точках

$$B(\tau) = \int s_i(t)s_j(t - \tau)dt$$

Однако удобнее пользоваться взаимно корреляционной функцией, построенной для аналитических сигналов $\tilde{s}_i(t)$ и $\tilde{s}_j(t)$, соответствующих действительным измеренным

$$\tilde{B}(\tau) = \int \tilde{s}_i(t) \tilde{s}_j^*(t - \tau) dt$$

т.к. модуль $|\tilde{B}(\tau)|$ не зависит от фазы принятых сигналов, которую трудно предсказать в многолучевой среде.

Типичный вид построенной таким образом функции $|\tilde{B}(\tau)|$, полученной в эксперименте для двух различных длительностей измерений представлен на рис. 1.

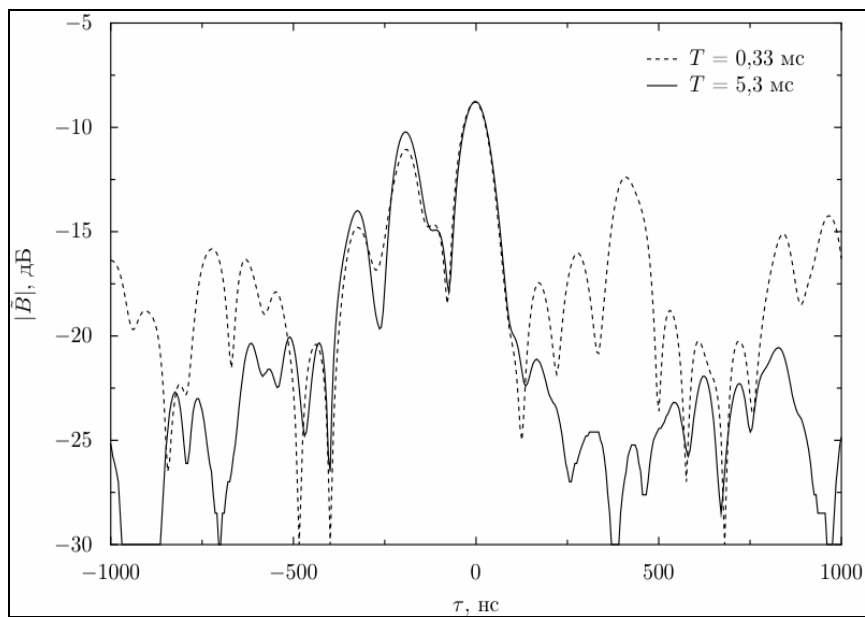


Рис. 1. Типичный вид ВКФ для двух различных длительностей измерений

Повысить отношение сигнал/шум можно путем увеличения времени измерения (на графике показаны ВКФ, измеренные за время $T = 0.33$ мс и $T = 5.3$ мс), оно растет пропорционально \sqrt{T} .

В многолучевой среде ВКФ имеет несколько сравнимых по величине локальных максимумов, соответствующих различным траекториям распространения лучей. Это затрудняет расчёт по сравнению со случаем свободного пространства, где ВКФ имеет единственный максимум. Однако был предложен метод оценки координат источника излучения даже по таким «сложным» ВКФ. Решением обратной задачи является точка \mathbf{r} , в которой достигается максимум функции $Q(\mathbf{r})$ – произведения значений всех ВКФ для соответствующих временных сдвигов $\tau_{ij}(\mathbf{r})$

$$Q(\mathbf{r}) = \prod B_{ij}[\tau_{ij}(\mathbf{r})] \rightarrow \max, \quad \tau_{ij}(\mathbf{r}) = \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| + |\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|}{c'}$$

где c' – эффективная скорость распространения радиоволн в среде. Пример распределения функции $Q(\mathbf{r})$ в области решения, полученный в эксперименте представлен на рис. 2.

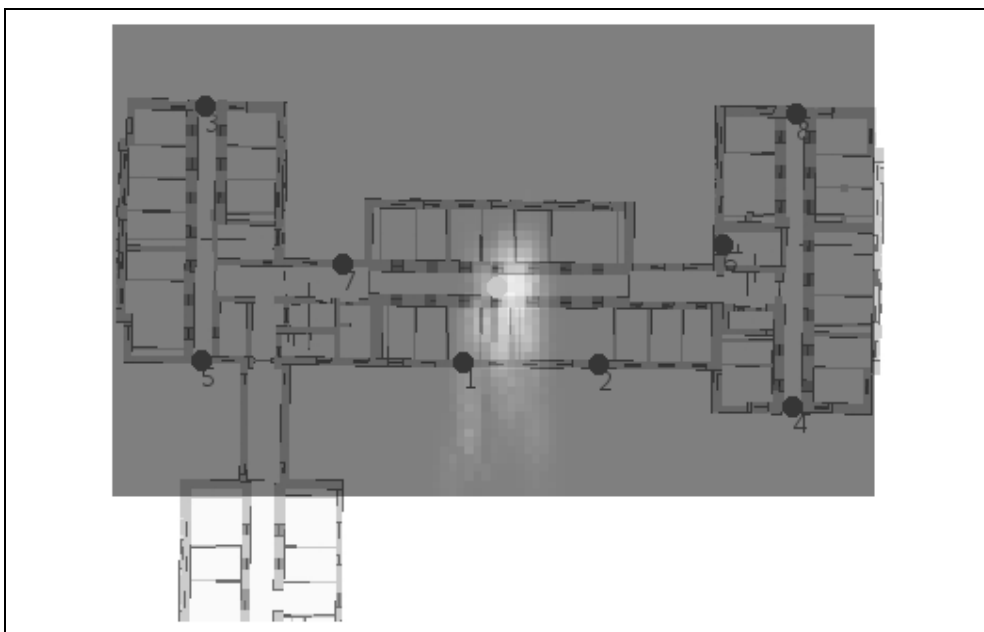


Рис. 2. Поле вероятности расположения передатчика

Для проверки предложенных методов был разработан и построен экспериментальный комплекс, который позволяет одновременно зафиксировать в цифровом виде несколько сигналов, принятых в одно и то же время в различных точках пространства и осуществить последующую обработку программными средствами. Разработанный измерительный комплекс (рис. 3) представляет собой синхронный двухканальный приёмник и 8 антенн, которые находятся в разных точках здания и соединяются с приёмниками коаксиальными кабелями.

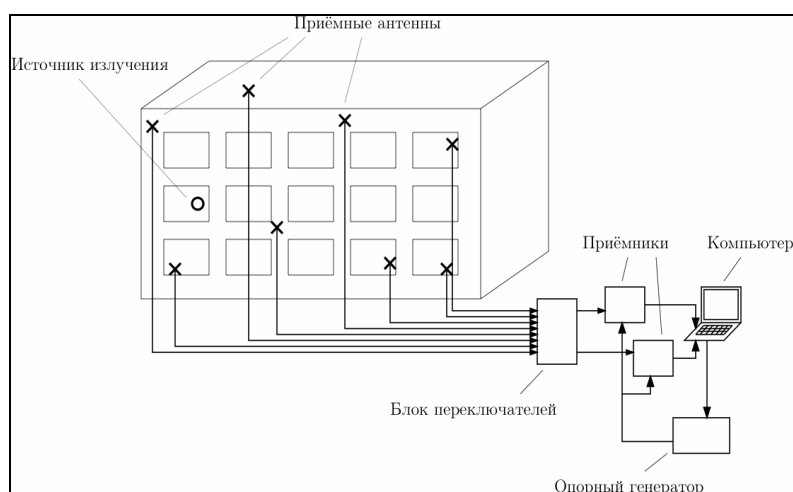


Рис. 3. Общая схема измерительного комплекса

В ходе экспериментов были проведены измерения более чем в 50 точках здания физического факультета МГУ на частоте 800 МГц с шириной полосы сигнала 20 МГц. Среднеквадратичное отклонение решения от истинных координат источника составило 6.3 м. Функция распределения ошибки определения координат, построенная по результатам эксперимента изображена на рис. 4. Расчеты были проведены с использованием различных значений эффективной скорости распространения, оптимальное значение для данного здания оказалось равным $c' = c/1.4$.

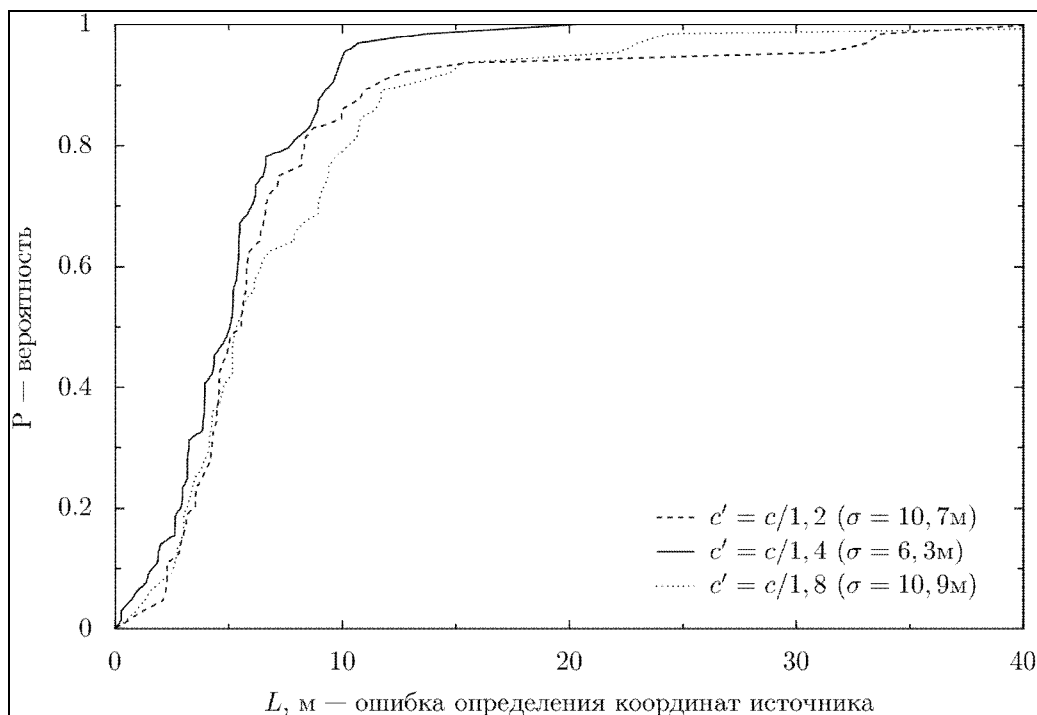


Рис. 4. Функция распределения ошибки определения координат

Показано, что предлагаемый метод целесообразно применять для широкополосных сигналов. Для эффективной работы метода в условия здания ширина полосы сигнала должна составлять не менее 6 МГц. Синхронные измерения и корреляционная обработка обеспечивает возможность работы с произвольно модулированными, нестационарными сигналами и сигналами ниже уровня шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козьмин В.А., Савельев А.М., Уфаев В.А., Чубов Е.А., «Сравнение методов местоопределения источников радиоизлучения» // Специальная техника, 2007, №1.
2. Штанько Н.Н., «Методика определения местоположения абонента в сетях GSM» // труды конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» («DSPA-2007»). с.171-173.
3. Феер К. Беспроводная цифровая связь. — М. Радио и связь, 2000.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М., 2005.