

УДК 004.7 (043.2)

¹Дрововозов В.И., к.т.н.²Хемраев А.К.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СВЯЗИ В ЛОКАЛЬНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

¹Факультет компьютерных систем²Институт аэрокосмических систем управления
Национального авиационного университета

Пространственно-временные методы, основанные на использовании цифровых антенных решеток, позволяют решить проблему обеспечения достаточно высокого уровня надежности приема радиосигналов в условиях многолучевого распространения радиоволн без изменения принятых протоколов. Рассмотрена задача оценки параметров пространственного спектра сигнала в виде анализа возможных направлений прихода сигнала.

Введение

Одной из проблем в области беспроводных систем связи является необходимость значительного увеличения скорости передачи данных и повышение качества обслуживания пользователей (уменьшение вероятности ошибки передачи информации). Проблема актуальна в беспроводных системах связи, работающих в сложных условиях распространения сигналов. Пути ее решения, связанные с расширением частотной полосы или с увеличением излучаемой мощности, исчерпали себя из-за высокой совместимости частотных диапазонов и требований биологической защиты.

Постановка проблемы

Для работы беспроводных систем связи в больших населенных пунктах наиболее характерным является случайный канал с релеевскими замираниями амплитуды сигналов и с доплеровской частотной дисперсией из-за движения передатчиков/приемников. Релеевские замирания, обусловленные интерференцией достаточно большого числа рассеянных сигналов и сильным ослаблением прямого сигнала, являются наиболее глубокими и приводят к значительным ошибкам при передаче информации. Для пригодных и более удобных условий более характерным является райсовский канал, когда наряду с рассеянными сигналами имеется прямой сигнал. Райсовские фединги яв-

ляются более благоприятными, так как проводят к менее глубоким замираниям амплитуды импульсов.

Ошибки передачи информации можно существенно уменьшить с помощью разнесенного приема или передачи сигналов несколькими антеннами, расстояние между которыми выбирается таким, чтобы обеспечить слабую корреляцию замираний сигналов в этих антеннах [1].

В современных беспроводных сетях все большее применение, вследствие эксплуатационных преимуществ, находят методы радиодоступа, одним из которых является возможность обеспечения мобильности оборудования без демонтажа последнего. В используемых протоколах (например, 802.11x) предусмотрены меры по обеспечению надежности приема радиосигналов в условиях многолучевого распространения радиоволн: методы передачи по параллельным каналам, блочного кодирования и др [2]. Однако, предусмотренные меры защиты не являются достаточно надежными. Поэтому целесообразно дополнить их такими, которые не требуют изменения принятых протоколов. Одним из путей такого подхода является применение пространственно-временного метода, основанного на использовании цифрового диаграммообразования (ЦДО) на базе цифровых антенных решеток (ЦАР) [2].

Целью работы является выбор подхода к решению задачи оценки параметров пространственного спектра сигнала, принятого несколькими приемными антеннами.

Результаты исследований

Цифровое формирование диаграмм направленности с помощью цифровых антенных решеток, которые отличаются от традиционных фазированных решеток установкой аналогово-цифровых (цифро-аналоговых) преобразователей в каждом приемном (передающем) канале, с формированием требуемых диаграмм направленности в цифровом виде с помощью вычислителя. При этом процесс диаграммообразования фактически сводится к взвешенному суммированию цифровых отсчетов уровней напряжения сигналов.

Использование адаптивных приемопередающих ЦАР позволяет реализовать одновременный прием множества сигналов в широком пространственном секторе с последующим измерением параметров каждого из них. Цифровое суммирование сигналов при такой пространственно-временной обработке обеспечивает наращивание мгновенного динамического диапазона до величин, принципиально недостижимых в аналоговой технике. Это является предпосылкой для реализации высокой помехозащищенности.

Высокой помехоустойчивости систем связи с ЦАР способствует также цифровое формирование высокоидентичных частотных фильтров в приемных каналах с предельно малым разбросом их амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик.

Система связи с использованием ЦАР, является более совершенной пространственно-избирательной системой, в которой предельно полно можно реализовать адаптивные методы обработки сигналов. С помощью ЦАР возможно проведение программной реконфигурации радиосетей с устойчивым сопровождением движущихся потребителей отдельными лучами диаграмм направленности.

В результате создаются условия для эффективного решения таких задач, как: подавление мешающих сигналов, возни-

кающих вследствие многолучевого распространения радиоволн, а значит, существенное снижение глубины замираний; повышение интенсивности полезных сигналов за счет ориентации максимумов диаграмм направленности антенны в направлениях источников сообщений, в том числе движущихся; улучшение отношения сигнал/помеха путем формирования глубоких «провалов» диаграмм направленности в направлениях источников мешающих сигналов; максимальное использование отведенной полосы частот за счет работы множества абонентов на одной и той же несущей при пространственном разносе потребителей сообщений; решение проблемы электромагнитной совместимости [2].

Достоинства систем с ЦДО известны достаточно хорошо. Однако, в связных задачах традиционные преимущества этой технологии имеют некоторые особенности. Так, в антенных решетках базовых станций сотовых сетей ЦДО значительно повышает помехоустойчивость мобильных телекоммуникаций, поскольку производительность цифровых систем связи резко снижается из-за межсимвольных помех, ошибочных бит, а также из-за замирания мощности не совпадающих по фазе сигналов, пришедших от множества переотражателей. Благодаря ЦДО работа радиоканалов при многолучевом распространении радиоволн становится более надежной. Необходимо отметить, что замирание сигналов в условиях многолучевого распространения радиоволн происходит вследствие поступления в точку приема нескольких лучей ($N = 2, 3, \dots$). Если они приходят в одной и той же фазе, то происходит увеличение уровня сигналов, а в случае противофазности – возможны замирания, нарушения связи. При этом интерференционная картина является динамической.

В случае приема многолучевого сигнала одной антенной, устранение влияния кратковременного замирания возможно, например, за счет методов блочного кодирования. Однако, при полном пропадании сигнала такие методы могут оказаться неэффективными. Иная картина на-

антенных элементов может быть любым. В дальнейшем предполагается, что антенная система представляет собой линейную эквидистантную ЦАР.

Принимаемый сигнал на входе m -го антенного элемента представим в виде:

$$y_m(t) = \sum_{n=1}^N h_{mn} x_n(t - \tau_{mn}) + v_m(t), \quad (1)$$

где h_{mn} – характеристика направленности m -го элемента при приеме n -го сигнала, $m = 1, 2, \dots, M$; $n = 1, 2, \dots, N$; $x_n(t - \tau_{mn})$ – полезный сигнал, задержанный на время τ_{mn} , которое связано с расположением m -го антенного элемента; $v_m(t)$ – аддитивный шумовой процесс.

В частотной области выражение (1) представим виде:

$$Y_m(\omega_l) = \sum_{n=1}^N H_{mn} e^{-j\omega_l \tau_{mn}} X_n(\omega_l) + V_m(\omega_l), \quad (2)$$

где $X_n(\omega_l)$ и $V_m(\omega_l)$ – коэффициенты, соответственно для $x(t)$ и $v(t)$.

Выражение (2) можно представить в векторной форме:

$$\vec{Y}_m(\omega_l) = \vec{H}(\omega_l) \vec{X}_n(\omega_l) + \vec{V}_m(\omega_l), \quad l = 1, 2, \dots, L,$$

где $H(\omega_l) = (h_l(\theta_1), h_l(\theta_2) \dots h_l(\theta_N))^T$ – матрица, определяющая пространственный спектр; L – размер апертуры.

Каждый l -й элемент матрицы представляет собой проекции вектора:

$$\vec{h}_l(\theta_n) = [h_{1n} e^{-j\omega_l \tau_{1n}}, h_{2n} e^{-j\omega_l \tau_{2n}}, \dots, h_{mn} e^{-j\omega_l \tau_{mn}}].$$

В данном случае уровни h_{mn} и задержки τ_{mn} являются параметрами, связанными с диаграммой направленности антенны и с местоположением n -го луча. Таким образом, в величине θ_n учитываются все представляющие интерес параметры n излучений h_{mn} и τ_{mn} , где $m = 1, 2, \dots, M$. В задачах оценки пространственных частот θ_n вместо временных параметров сигнала используют пространственные, а именно: размер апертуры L соответствует временному интервалу T в обычном преобразовании Фурье.

Определим сигнально-помеховую ситуацию при решении задач оценки спектра. Будем считать, что процедура

оценки осуществляется на фоне нормальных шумов, образующих вектор:

$$\vec{V}(j) = [v_1(j), v_2(j), \dots, v_N(j)]^T$$

с одинаковыми по уровню компонентами, со спектральной плотностью мощности $\sigma^2 I$. В этом случае оценка $\{\theta_n\}$, определяемая по методу наименьших квадратов будет находится по правилу:

$$\{\hat{\theta}_n\}_{n=1}^N = \arg \min_{\{\theta_n\} \in \Omega} \Omega, \quad (3)$$

где
$$\Omega = \sum_{j=1}^J \|Y(j) - HS(j)\|^2$$

Ω – критериальный функционал

Выводы

Пространственно-временные методы, основанные на использовании цифровых антенных решеток, позволяют решить проблему обеспечения достаточно высокого уровня надежности приема радиосигналов в условиях многолучевого распространения радиоволн без изменения принятых протоколов.

Процедура нахождения оптимальной оценки по выражению (3) может осуществляться с использованием подходящих методов нелинейного программирования, например, градиентным методом. При этом на каждом очередном шаге за счет обновления данных критериальная функция Ω уменьшается, сходясь к наименьшему значению.

Список использованной литературы

1. Ермолаев В.Т. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах беспроводной связи / Ермолаев В.Т., Флакман А.К. – Н.: Нижний Новгород, 2006. – 38 с.
2. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи: // Радиоаматор, 2004. – №8. – С. 29 – 32.
3. Слюсар В.И. Цифровое формирование луча в системах связи – будущее рождается сегодня / Интернет-журнал «Электроника». – 2003. – №1. – 46 с.