

УДК 326.391

В.И. СЛЮСАР¹, Н.А. МАСЕСОВ², И.И. СЛЮСАР²¹Центральный НИИ вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины;²Полтавский военный институт связи, Украина

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СВЯЗИ В ЛОКАЛЬНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

В настоящее время в используемых протоколах предусмотрены меры по обеспечению надежности приема радиосигналов в условиях многолучевости, однако они не являются абсолютными. Пространственно-временные методы, основанные на использовании цифровых антенных решеток (ЦАР), позволяют решить эту проблему без изменения принятых протоколов. Рассматривается задача оценки параметров пространственного спектра сигнала в виде анализа возможных направлений прихода сигнала. Делаются выводы об эффективности предложенной методики с оценкой элементов пространственного спектра.

пространственно-временная обработка сигналов, цифровое диаграмообразование, пространственный спектр сигнала, ММО-система

Введение

В современных локальных беспроводных сетях все большее применение находят методы радиодоступа вследствие эксплуатационных преимуществ, одним из которых является возможность обеспечения маневра офисным оборудованием без демонтажа последнего [1, 2]. В настоящее время, 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. [3].

Однако, предусмотренные меры защиты не являются абсолютными. Поэтому целесообразно дополнить их такими, которые не требуют изменения принятых протоколов с целью сохранения преимущества. Одним из путей такого подхода является применение пространственно-временного метода, основанного на использовании цифрового диаграмообразования (ЦДО) на базе цифровых антенных решеток (ЦАР) [4].

Достоинства систем с ЦДО известны достаточно хорошо [5 – 7]. Однако, в связных задачах традиционные преимущества этой технологии приобретают определенную специфику. Так, в антенных решетках базовых станций сотовых сетей ЦДО значительно повышает помехоустойчивость мобильных телекоммуникаций. Ведь известно, что производительность цифровых систем связи резко снижается из-за межсимвольных помех, ошибочных бит, а также из-за фединга (замирания) мощности не совпадающих по фазе сигналов, пришедших от множества переотражателей. Благодаря ЦДО работа радиоканалов при многолучевом распространении радиоволн впервые а истории связи становится надежной.

Необходимо отметить, что замирания в условиях многолучевости происходят вследствие прихода 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 (рис. 1) наблюдается при использовании нескольких антенн ($M = 2, 3, \dots$). Этот вариант соответствует обработке сигналов в MIMO-системе (Multiple-Input Multiple-Output) [8].

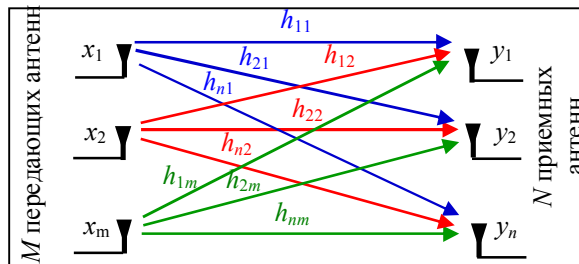


Рис. 1. Структура MIMO системы

Применение ЦАР с MIMO-системой позволяет решить проблему стойкого функционирования систем связи в условиях влияния активного радиопротиводействия противника, многолучевого распространения радиоволн и связанных с ним явлений.

В работе предлагается применять MIMO-системы с использованием механизма пространственно-временной обработки (Space-Time Processing - STP) сигналов (рис. 2).

Под STP понимается адаптивная обработка сигналов системой, которая состоит из нескольких антенных элементов, с использованием особенностей как пространственной, так и временной областей радиоканала.

Техника STP может применяться на передающем, приемном или на обоих концах канала. В первых двух случаях говорят о технологиях интеллектуальных антенн (smart antenna).

Если система использует интеллектуальные антенны на передающем конце канала, то ее называют Multiple Input Single Output (MISO), если на приемном - Single Input Multiple Output (SIMO).

Система с M передающими и M принимающими антеннами способна обеспечить пиковую

пропускную способность теоретически в M раз большую, чем обычные системы Single Input Single Output (SISO).

Это достигается за счет того, что передатчик разбивает поток данных на независимые последовательности битов и пересылает их одновременно, используя массив антенн. Такая техника называется пространственным мультиплексированием.

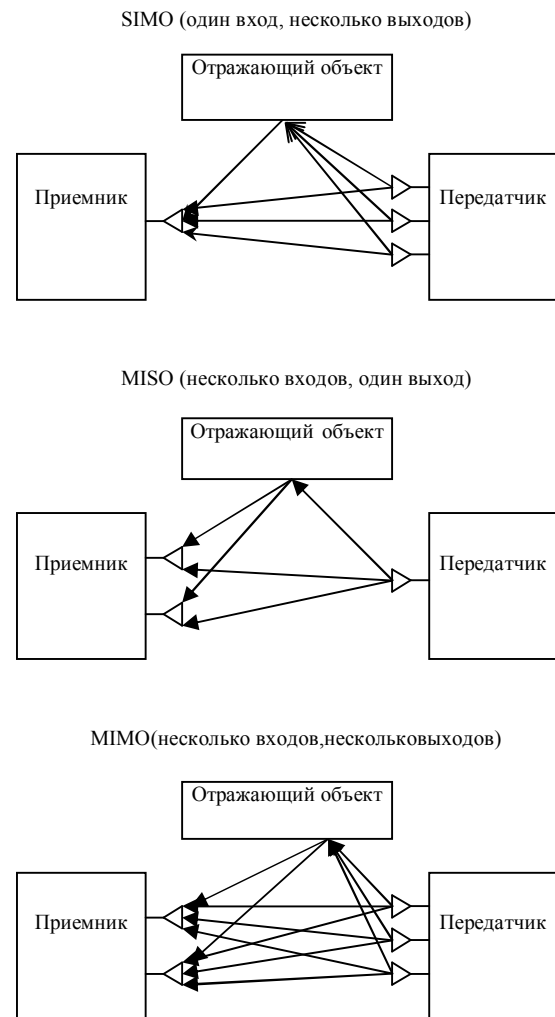


Рис. 2. Принципы построения SIMO-, MISO-, MIMO-систем

Таким образом, использование этой технологии в современных сетях связи обещает решить следующие кардинальные проблемы:

- расширение зоны покрытия радиосигналами и сглаживание в ней мертвых зон;
- использование нескольких путей распространения сигнала, что увеличивает

вероятность работы по трасам, на которых меньше проблем с замираниями, переотражениями и т.п.;

– увеличение пропускной способности линии связи за счет формирования физически разных каналов (разрозненных пространственно, с помощью ортогональных кодов, частот, поляризационных мод).

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

Результаты исследований

Учитывая независимость путей распространения, вероятность одновременного замирания будет равна произведению отдельных вероятностей:

$$P_{\text{общ}} = \prod_{m=2}^M P_m. \quad (1)$$

Поэтому целесообразно рассматривать задачу оценки параметров пространственного спектра сигнала в виде оценки преимущественных направлений прихода сигнала \mathcal{S} .

Предположим, что полезный сигнал принимается M -элементной ЦАР. В качестве антенных элементов могут быть использованы рупорные облучатели, открытые концы волноводов, а также обычные электрические антенны типа штырь или диполь. ЦАР может иметь $N \geq 2$ антенных элементов размещенных эквидистантно с шагом $d = \frac{\lambda_0}{2}$. При $N > 2$ порядок размещения антенных элементов может быть любым. Для дальнейших расчетов предполагаем, что антенная система представляет собой линейную эквидистантную ЦАР.

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

$$y_m(t) = \sum_{n=1}^N h_{mn} x_n(t - \tau_{mn}) + v_m(t), \quad (2)$$

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 уравнение (2) запишем в виде выражения:

$$y_m(\omega_l) = \sum_{n=1}^N H_{mn} e^{-j\omega_l \tau_{mn}} X_n(\omega_l) + V_m(\omega_l), \quad (3)$$

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

Выражение (3) можно представить в векторной форме:

$$\vec{Y}_m(\omega_l) = \vec{H}(\omega_l) \vec{X}_n(\omega_l) + \vec{V}_m(\omega_l), \quad l = 1, 2, \dots, L, \quad (4)$$

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

Каждый l -й элемент матрицы представляет собой проекции вектора:

$$\vec{h}_l(\theta_n) = [h_{1n} e^{-j\omega_l \tau_{1n}}, h_{2n} e^{-j\omega_l \tau_{2n}}, \dots, h_{mn} e^{-j\omega_l \tau_{mn}}]. \quad (5)$$

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 $\vec{\theta}_n$ 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 $\{\vec{\theta}_n\}$,

определяемая по методу наименьших квадратов будет находиться по правилу:

$$\{\bar{\theta}_n\}_{n=1}^N = \arg \min_{\{\theta_n\} \in \Omega} \Omega, \quad (6)$$

где $\Omega = \sum_{j=1}^J \|Y(j) - H\bar{S}(j)\|^2$ – критериальный функционал; $\|x\|$ – норма величины x .

Выводы

Процедура нахождения оптимальной оценки по выражению (6) 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 минимуму.

Для слабонаправленных антенн ограниченного числа $N \leq 10$ локальный минимум совпадает с глобальным. При использовании средне и остронаправленных антенн, когда $G_A \geq 3...6$ дБ для совпадения локального и глобального минимумов следует принимать дополнительные меры: задавать начальные данные и др.

Дальнейшие исследования будут направлены на решение задачи оценки пространственного спектра сигнала в различных сигнально-помеховых ситуациях, выбор оптимального метода пространственно-временной обработки сигналов, его технической реализации с анализом предельных возможностей уплотнения сигналов и моделирование ММО-системы на отечественной элементной базе (модули цифровой обработки сигналов ADC100AS2 фирмы "Пульсар-ЛТД.", г. Днепропетровск, Украина).

Предложенный в работе подход оценки элементов пространственного спектра позволяет учитывать преимущественные направления прихода сигнала не только в условиях независимо замирающих сигналов, но и в стационарных условиях, когда эти сигналы полностью коррелированы. Таким образом, он является более

общим инструментом по сравнению с задачей комбинирования [4]. При этом сама задача повышения надежности связи может сводиться как к весовому сложению, так и к подавлению нежелательных многолучевых компонент. Так, оценки $\hat{\theta}$ могут представлять собой не что иное, как соответствующие запаздывания в ветвях приема, которые необходимо установить в линиях задержки, чтобы адаптивно принять и когерентно сложить принятые сигналы.

Литература

1. Коновер Дж. Магия беспроводных ЛВС // Сети и системы связи. – 2000. – № 12. – С. 38-53.
2. Скиуни Д. Внутренние радиотелефонные системы // Сети и системы связи. – 2000. – № 11. – С. 102-106.
3. Валентинова М. Wi-Fi микросхемы // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. – № 15. – С. 36-41.
4. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. – М. Радио и связь, 1986. – 486 с.
5. Слюсар В.И., Заболоцкий М.А. Цифровые антенные решетки в зарубежных системах мобильной связи // Зв'язок. – 1999. – № 1.
6. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи // Радиоаматор. – 1999. – № 8.
7. Слюсар В.И. Цифровое формирование луча в системах связи: будущее рождается сегодня // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2001. – № 1. – С. 6-12.
8. Слюсар В. И. Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. – № 10. – С. 52-59.

Поступила в редакцию 13.02.2006

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.В. Варич, Полтавский военный институт связи, Полтава.