

УДК 326.391

В.И. СЛЮСАР¹, Н.А. МАСЕСОВ², И.И. СЛЮСАР²

¹Центральный 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, 802.11х) 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 преемственности. 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 традици-

онные 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 в 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 пропа-

дании 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].

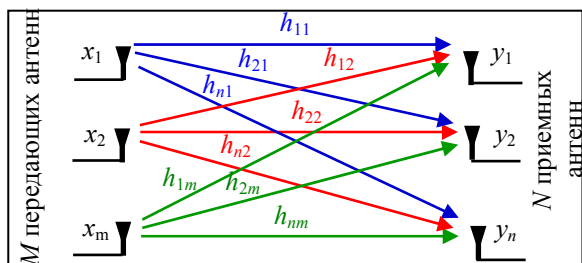


Рис. 1. Структура MIMO системы

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).

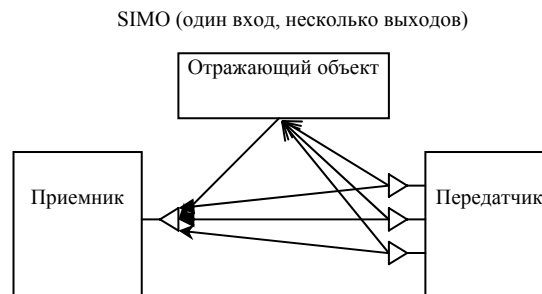
Под STP понимается адаптивная обработка сигналов системой, которая состоит из нескольких антенных элементов, с использованием особенностей как пространственной, так и временной областей радиоканала.

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

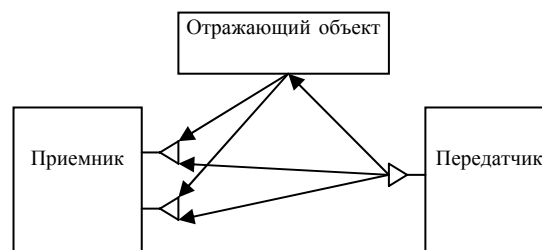
Если система использует интеллектуальные антенны на передающем конце канала, то ее называют Multiple Input Single Output (MISO), если на приемном - Single Input Multiple Output (SIMO).

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.



SIMO (один вход, несколько выходов)



MIMO (несколько входов, несколько выходов)

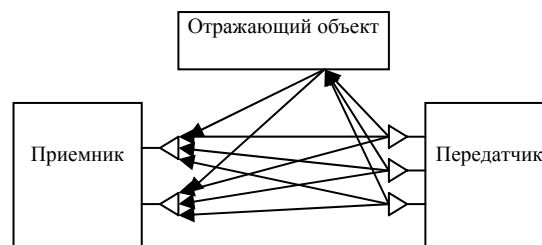


Рис. 2. Принципы построения SIMO-, MISO-, MIMO-систем

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 $\hat{\beta}$.

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 располо-

жением 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 $\bar{\theta}_n$ 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 $\{\bar{\theta}_n\}$, опре-

деляемая по методу наименьших квадратов будет находится 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 MIMO-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 MIMO: 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.