

АДАПТАЦИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО БАЗИСА АНТЕНН БАЗОВОЙ СТАНЦИИ С ОРТОГОНАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Мартынчук А.А., Колесников А.Н.
Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, 14 Nauki Ave.
E-mail: alexmartynchuk@ukr.net

The problem of controlling the polarization basis of antenna systems for radiation in the interest of increasing noise immunity from active noise interference is considered.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение помехозащищенности базовых станций в условиях воздействия нежелательных внешних излучений либо активных шумовых помех представляет собой важную научно-техническую задачу. Обработка ортогональных по поляризации сигналов на фоне помех, мощность которых может быть в десятки раз больше мощности самого сигнала, а пространственные и спектральные различия могут быть малы, возможно, если использовать поляризационные различия сигналов и помехи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть некоторый информационный поток $S(t)$ в кодере передатчика разделен на два $S(t) = (S_1(t) \ S_2(t))^T$ подпотока, которые одновременно излучаются передающей антенной на вертикальной $S_1(t)$ и на горизонтальной $S_2(t)$ поляризации (рис. 4.1).

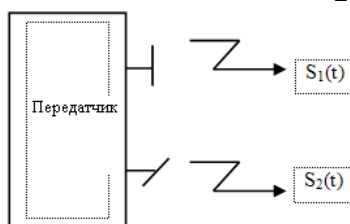


Рис. 1 - Излучение ортогональных радиоволн

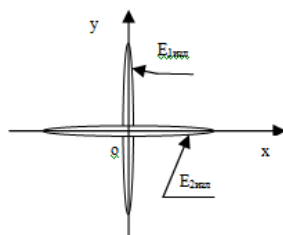


Рис. 2 - ПД излучаемых радиоволн

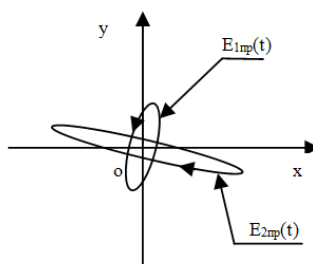


Рис. 3 - ПД принимаемых радиоволн

Излучаемые сигналы в свободном пространстве реальных поляризационно-ортогональных излучателей передающих антенн ввиду их конечной развязки по поляризации характеризуются параметрами поляризационных диаграмм (ПД), такими как угол эллиптичности α и угол ориентации β поляризационного эллипса (рис. 2).

ПД принимаемых радиоволн ввиду изменяемых условий распространения радиоволн мобильных систем, влияния переотражений, многолучевости, погодных условий, могут сколь угодно отличаться от идеальных линейно-поляризованных (рис. 3) и являются частично поляризованными.

Поэтому, целесообразным является полный поляризационный прием таких радиоволн (рис. 4) в многоканальном приемнике.

Сигналы с ортогональным кодированием выделяются в четырех каналах многоканального приемника, один из которых представлен на рис. 5.

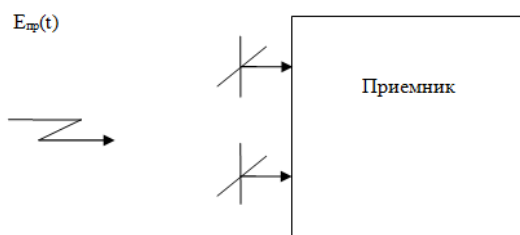


Рис. 4 - Поляризационно-ортогональные антенны приемника

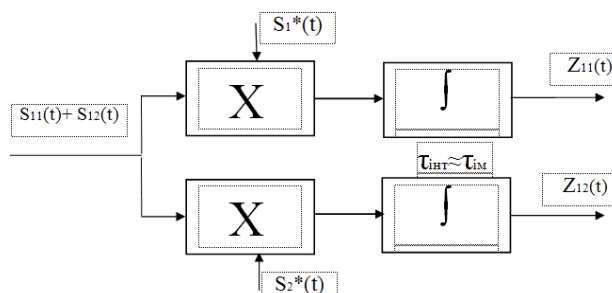


Рис. 5 - Выделение ортогональных радиоволн в одном поляризационном канале

В каждом из поляризационных каналов происходит разделение основных $z_{11}(t)$ либо $z_{22}(t)$ и перекрестных, $z_{12}(t)$ либо $z_{21}(t)$ по поляризации составляющих ортогональных радиоволн. В результате дальнейшей адаптивной к поляризационным изменениям обработки полученного поляризационного вектора радиоволн выделяются составляющие $S_1(t)$ и $S_2(t)$ в декодере, и происходит формирование выходного информационного потока $S(t)$.

Процесс подавления помех и обнаружения сигнала можно рассматривать как единый этап обработки входных информационных векторов. Под входным информационным вектором понимается поляризационный вектор \vec{S} в некотором поляризационном базисе (ПБ).

МЕТОДИКА АДАПТАЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО БАЗИСА

Область изменения каждой из составляющих поляризационного вектора случайного векторного пространства исчерпывающе описывается n-мерной плотностью распределения $P(\vec{S})$. Поскольку, в общем случае, на измерение поляризационного вектора (ПВ) воздействует большое число независимых случайных величин, то $P(\vec{S})$ приближается к нормальному:

$$P(\vec{S}) = (2\pi|M|)^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}(\vec{S} - \vec{m})^T M^{-1}(\vec{S} - \vec{m})\right), \quad (1)$$

где \vec{m} - вектор средних значений; M^{-1} - матрица, обратная ковариационной матрице M , $|M| \neq 0$.

Выборки нормально распределенного случайного вектора имеют тенденцию попадать в одну область [1]. Центр этой области определяется вектором средних значений \vec{m} , а форма - ковариационной матрицей M . Из соотношения (1) следует, что элементы случайного вектора \vec{S} образуют n-мерный эллипсоид равной плотности вероятностей с уравнением:

$$(\vec{S} - \vec{m})^T M^{-1}(\vec{S} - \vec{m}) \leq d^2, \quad d > 0. \quad (2)$$

Главные оси этого эллипсоида задаются собственными векторами ковариационной матрицы или ковариационно-поляризационной матрицы (КПМ), а длины полуосей - ее собственными значениями [1,2]. Все это позволяет ввести в рассмотрение область локализации [3], отражающую основные статистические свойства ПВ как случайных векторов.

Получение оценки КПМ происходит путем адаптивного оценивания по пространству и времени одного углового направления. Можно записать оценку КПМ на i-тый временной отсчет:

$$\hat{M} = \frac{1}{2(TL-1)} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^L \vec{S}_{ij} \vec{S}_{ij}^T, \quad (3)$$

где T, L - размеры "скользящего окна" по времени и пространству, определяемые интервалами стационарности параметра помехи.

Здесь и в дальнейшем КПМ помехи предполагается невырожденной вследствие влияния как внешних, так и внутренних шумов приемных устройств.

Основываясь на том, что наличие сигнала и помехи в анализируемом элементе разрешения сопровождается изменением параметров ОЛ поляризационного вектора (3), можно осуществить выделение сигналов и подавление помех.

Считаем, что условные плотности распределения вероятностей независимых ПВ при наличии и отсутствии сигнала описываются нормальными законами:

$$P_1(\vec{S}) = \left((2\pi|M_1|)^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\vec{S} - \vec{m}_1)^T M_1^{-1}(\vec{S} - \vec{m}_1)\right\} \right) \cdot P_0(\vec{S}) = \left((2\pi|M_0|)^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\vec{S} - \vec{m}_0)^T M_0^{-1}(\vec{S} - \vec{m}_0)\right\} \right). \quad (4)$$

Оптимальная весовая обработка смеси сигнала и помехи будет в том случае, если вектор весовых коэффициентов \vec{W} вычисляется по формуле Винера - Хопфа:

$$\vec{W} = M^{-1} \cdot \vec{b}_c, \quad (5)$$

где \vec{b}_c - весовой вектор сигнала.

Результатом поляризационной обработки является

$$v = \vec{S}^{T*} \vec{W} = \vec{S}^{T*} \dot{M}^{-1} \vec{b}_c. \quad (6)$$

В целом обработка (6) предполагает адаптивное обучение по помехе (3) и обеспечивает независимость ошибок канала от интенсивности помехи и позволяет использовать поляризационно - статистические отличия ПВ сигнала цели и помехи.

Управление поляризационным базисом передающих антенн должно осуществляться из условия минимизации помех путем адаптивного обучения и ортогонализации областей локализации сигнала и помехи, при которой обеспечивается наибольшая эффективность обнаружения. Имеем:

$$\dot{Q} = 90^\circ + j0, \quad (7)$$

где \dot{Q} - комплексный вектор между соответствующими собственными векторами КПМ сигнала и помехи.

Поскольку ранг КПМ полностью поляризованной помехи равен единице и имеет единственный собственный вектор, то ОЛ - одномерна. Ориентация области локализации в комплексном поляризационном пространстве будет определяться только первым собственным вектором

$$\vec{b}_{1\bullet} = \begin{pmatrix} b_1 + jb_1^{\circ} \\ b_2 + jb_2^{\circ} \\ b_1 + jb_1^{\circ} \\ b_2 + jb_2^{\circ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} - j \sin \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} \\ \cos \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} + j \sin \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} \\ \cos \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} - j \sin \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} \\ \cos \alpha_{\bullet} \sin \beta_{\bullet} + j \sin \alpha_{\bullet} \cos \beta_{\bullet} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где b_1, b_2 и b_1°, b_2° - действительные и мнимые составляющие проекций первого собственного вектора помехи на орты КПП; $\alpha_{\bullet}, \beta_{\bullet}$ - углы эллиптичности и ориентации эллипса поляризации помехи. Адаптивная оценка поляризационных параметров помех позволяет получить некоторые поляризационные параметры α_{\bullet} и β_{\bullet} на интервале наблюдения помехи. Пусть собственный вектор КПМ сигнала имеет вид:

$$\vec{b}_{1c} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_c \cos \beta_c - j \sin \alpha_c \sin \beta_c \\ \cos \alpha_c \sin \beta_c + j \sin \alpha_c \cos \beta_c \\ -\cos \alpha_c \sin \beta_c - j \sin \alpha_c \cos \beta_c \\ \cos \alpha_c \sin \beta_c + j \sin \alpha_c \cos \beta_c \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где α_c и β_c - углы эллиптичности и ориентации эллипсов поляризации излучаемых сигналов.

Обеспечим равенство нулю скалярного произведения векторов(8) и (9), т.е.

$$\left(\vec{b}_{1\bullet}, \vec{b}_{1c} \right) = 0. \quad (10)$$

Решая (10) относительно α_c и β_c , имеем:

$$\alpha_c = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{2((b_1 - b_2)(b_1^{\circ} + b_2^{\circ}) + (b_1 + b_2)(b_1^{\circ} - b_2^{\circ}))}{(b_1^{\circ} - b_2^{\circ})^2 + (b_1 - b_2)^2 + (b_1^{\circ} + b_2^{\circ})^2} \right)$$

$$\beta_c = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{2((b_1^{\circ} + b_2^{\circ})(b_1^{\circ} - b_2^{\circ}) + (b_1 - b_2)(b_1 + b_2))}{(b_1^{\circ} + b_2^{\circ})^2 + (b_1^{\circ} - b_2^{\circ})^2 + (b_1^{\circ} + b_2^{\circ})^2 - (b_1 - b_2)^2} \right). \quad (11)$$

Управление параметрами α_c и β_c определяет адаптацию поляризационного базиса передающей антенны, при котором будет обеспечиваться ортогональность областей локализации ПВ сигнала и помех.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Оценка эффективности методики адаптации поляризационного базиса проводилась методом статистических испытаний. Полезный сигнал моделировался для двух независимых поляризационно-ортогональных каналов. Внешнее нежелательное излучение представляло собой модель полностью, частично или хаотически поляризованную помеху. При этом КПМ помехи с различными поляризационными параметрами (углами эллиптичности α_n , ориентации β_n и индексом поляризации) были получены с использованием математической модели АПП.

Для оценки результатов проводимой оптимизации использовались следующие показатели:

Коэффициент подавления помех

$$K_n = \frac{P_{n_{\text{вых}}}}{P_{n_{\text{вх}}}}, \quad (12)$$

где $P_{n_{\text{вх}}}$, $P_{n_{\text{вых}}}$ - мощности помехи до оптимизации и после нее соответственно, определяемые как след соответствующих им КПМ.

Коэффициент выигрыша в мощности сигнала

$$K_{\theta_c} = \frac{P_{c_{\text{вых}}}}{P_{c_{\text{вх}}}}, \quad (13)$$

где $P_{c_{\text{вх}}}$, $P_{c_{\text{вых}}}$ - мощности сигнала до оптимизации и после нее соответственно, определяемые как след соответствующих им КПМ.

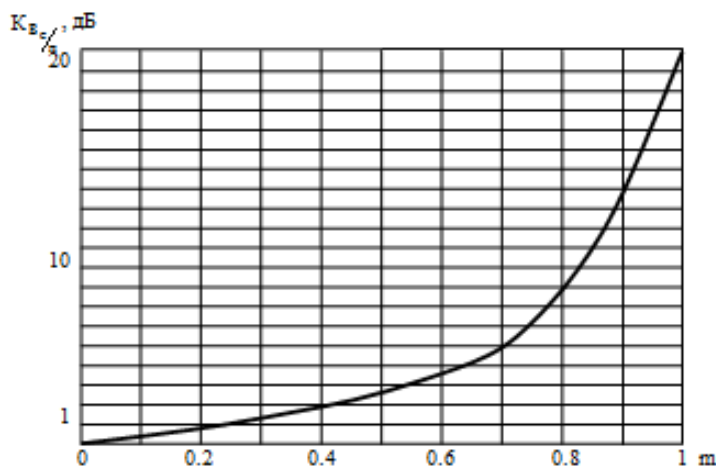


Рис. 6 - Зависимость коэффициента выигрыша в отношении сигнал/помеха от индекса поляризации

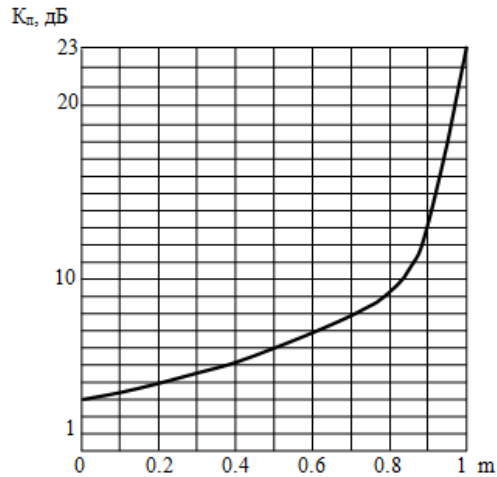


Рис. 7 - Зависимость Кп от индекса поляризации

Коэффициент выигрыша в отношении сигнал/помеха

$$K_{\text{с/ш}} = \frac{P_{\text{с}_{\text{вых}}} / P_{\text{п}_{\text{вых}}}}{P_{\text{с}_{\text{вх}}} / P_{\text{п}_{\text{вх}}}} \quad (14)$$

Оптимальные параметры по критерию минимума мощности помехи являются ортогональными поляризационным параметрам воздействующих АШП: $\beta_{R1,R2} = \beta_n + 90^\circ$ и $\alpha_{R1,R2} = -\alpha_n$. Полученные результаты оптимизации представлены на рис. 6 и 7. С увеличением индекса поляризации m величина коэффициента подавления возрастает. С уменьшением мощности помехи по отношению к шумам Кп падает. Так при $q_{n/ш}^2 = 80$ дБ будет Кп = 67 дБ, а при $q_{n/ш}^2 = 20$ дБ уже Кп = 23 дБ.

Использование управления параметрами поляризационного базиса антенной системы на излучение позволит получить энергетический выигрыш в отношении сигнал/помеха до 14 дБ при индексе поляризации частично поляризованной помехи около 0,8. Исследование алгоритма управления параметрами поляризационного базиса антенной системы на излучение показало, что ортогонализация только первых собственных векторов ОЛ ПВ сигнала и помехи может повысить показатели качества передачи каналов.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования указывают на высокую эффективность использования адаптации поляризационного базиса антенн базовой станции с ортогональной поляризацией для обеспечения электромагнитной совместимости в условиях воздействия активной помехи и возможность работы канала связи.

Список литературы:

1. Martynchuk A.A., Loshakov V.A., Oliver L.M/. Development of a trans-horizon communication system based on dual polarization MIMO architecture // "Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (EMC-2015)". – Харьков: ХНУРЭ, 2015.
2. Popovskii V., Loshakov V., Filipenko O., Martynchuk O., Drif A./ Results of development tropospheric communications system / 2015 Second International Scientific Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology". –Kharkiv, ANPRE, 2015.