

УДК 621.396.98

А.И. Паньчев

УЧЁТ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В КАНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕ
ЛОКАЛЬНОЙ МИМО-СИСТЕМЫ

Рассмотрено явление деполаризации электромагнитных волны многолучевого распространения сигналов локальной МИМО-системы. Основной характеристикой МИМО-системы является канальная матрица, содержащая комплексные коэффициенты передачи по полю из m -го элемента передающей антенной системы в n -й сегмент приёмной антенной системы. В предположении, что передающая и приёмная антенны расположены в дальней зоне друг друга, коэффициент распространения определяется как

$$h_{mn} = \sqrt{D_m^t D_n^r} F_m^t(\theta_{0mn}^t, \varphi_{0mn}^t) F_n^r(\theta_{0mn}^r, \varphi_{0mn}^r) L_{0mn} L_{0mn}^{pol} L_m^t L_n^r V_{mn}.$$

Поляризационные явления, сопровождающие распространение радиоволн в сложной обстановке помещения, учитываются с помощью поляризационного коэффициента передачи L_{0mn}^{pol} и множителя влияния окружающей среды V_{mn} . На основе метода геометрической оптики разработана трехмерная модель трассировки лучей в помещении, учитывающая изменение поляризации при отражениях от стен и препятствий, прохождении лучей через преграды, дифракции на элементах конструкций зданий. Поляризационный коэффициент передачи прямого луча определяет степень несоответствия между передающей и приемной антеннами по поляризации вследствие особенностей их конструкции и взаимного расположения и вычисляется как скалярное произведение векторов поляризации передающей и приемных антенн. Предложены функции преобразования векторов поляризации, учитывающие произвольную ориентацию и вращение передающей и приемной антенн. Дана количественная оценка поляризационного коэффициента передачи по полю канала МИМО-системы. Значение множителя влияния окружающей среды в приближении геометрической оптики учитывает многолучевой характер распространения сигнала и характеризует амплитудные, фазовые и поляризационные параметры каждого из отраженных, преломленных или дифракционных лучей. Представлены результаты моделирования распределения модуля поляризационного коэффициента передачи в помещении с препятствием в форме прямоугольного параллелепипеда.

МИМО; поляризационный коэффициент передачи; распространение радиоволн; отражение; преломление; дифракция; метод геометрической оптики.

A.I. Panychev

ACCOUNTING FOR POLARIZATION EFFECTS IN THE CHANNEL MATRIX
LOCAL MIMO SYSTEMS

The phenomenon of depolarization electromagnetic waves of multipath propagation signals of local MIMO system is considered. The main characteristic of the MIMO system is the channel matrix containing the complex coefficients of the transmission field the m -th element of the transmitting antenna system in the n -th segment of the receiving antenna system. Assuming that the transmitting and receiving antennas are in the far field of each other, the spread ratio is defined as

$$h_{mn} = \sqrt{D_m^t D_n^r} F_m^t(\theta_{0mn}^t, \varphi_{0mn}^t) F_n^r(\theta_{0mn}^r, \varphi_{0mn}^r) L_{0mn} L_{0mn}^{pol} L_m^t L_n^r V_{mn}.$$

Polarization phenomena accompanying the propagation of radio waves in the challenging environment of space, are accounted for using the polarization transfer factor L_{0mn}^{pol} and the coefficient of the environment influence V_{mn} . On the basis of the geometrical optics method, three-dimensional ray tracing in the premises, taking into account the change of polarization upon reflection from walls and obstacles, the passage of the rays through the barriers, the diffraction on the structural elements of buildings is developed. The polarization transfer ratio of direct beam

determines the degree of mismatch between transmitting and receiving antennas for polarization due to their particular construction and arrangement and is calculated as the scalar product of the polarization vectors the transmitting and receiving antennas. Conversion function of the polarization vectors, taking into account the random orientation and the rotation transmitting and receiving antennas are developed. The quantitative estimation of the polarization transfer coefficient on the field channel MIMO system is given. The coefficient of the environment influence in the geometrical optics approximation takes into account the multipath nature of the signal propagation and characterizes the amplitude, phase and polarization parameters each of the reflection, refraction or diffraction of the rays. The simulation results of the distribution module of the polarization transfer factor in a room with an obstacle in the form of a rectangular parallelepiped are presented.

MIMO; polarization transfer factor; propagation; reflection; refraction; diffraction; a method of geometrical optics.

Достоинством систем ММО является их максимальная приспособленность к комплексному решению проблемы повышения скорости передачи данных за счет формирования физически различных каналов, сочетающих пространственное разделение сигналов с применением ортогональных кодов, разделением каналов по частоте, времени, поляризации [1–7]. Свойства пространственного канала описываются комплексными коэффициентами передачи по полю h_{mn} из m -го элемента передающей антенной решетки в n -й элемент приемной решетки. Совокупность коэффициентов h_{mn} , $m = 1, \dots, M$, $n = 1, \dots, N$ образует канальную матрицу \mathbf{H} системы ММО.

Рассмотрим локальную систему связи, содержащую передающую антенну в виде системы из M элементов и приемную антенную систему из N элементов. Отдельные элементы передающей и приемной антенных систем могут иметь конструкции с различными поляризационными и направленными характеристиками. Удачный вариант микрополосковой антенны, допускающей эффективное варьирование параметров, описан в [8].

По результатам трехмерной многолучевой трассировки радиоволн, дающей основные геометрические параметры задачи, комплексный коэффициент передачи сигналов локальной ММО-системы внутри зданий может быть определен в предположении, что передающая и приемная антенны находятся в дальних зонах друг друга [9]:

$$h_{mn} = \sqrt{D_m^t D_n^r} F_m^t(\theta_{0mn}^t, \varphi_{0mn}^t) F_n^r(\theta_{0mn}^r, \varphi_{0mn}^r) L_{0mn} L_{0mn}^{pol} L_m^t L_n^r V_{mn}. \quad (1)$$

Поляризационные явления, сопутствующие распространению радиоволн в сложной обстановке помещения, учитываются поляризационным коэффициентом передачи L_{0mn}^{pol} и множителем влияния окружающей среды V_{mn} .

Анализ поляризационных эффектов в радиоканале ММО-системы рассмотрен в следующей постановке. Помещение и расположенное в его объеме препятствие представляют собой произвольные выпуклые тела, поверхности которых аппроксимированы плоскими фрагментами. На рис. 1 приведен распространенный практический случай, когда помещение и препятствие имеют форму прямоугольного параллелепипеда. Показаны основной луч $\mathbf{0}$ и, для примера, луч однократного отражения от одной из внутренних поверхностей – луч $\mathbf{3}$. Необходимо составить расчетные выражения комплексного поляризационного коэффициента передачи по полю для прямого луча, а также для отраженного, преломленного и дифракционного лучей.

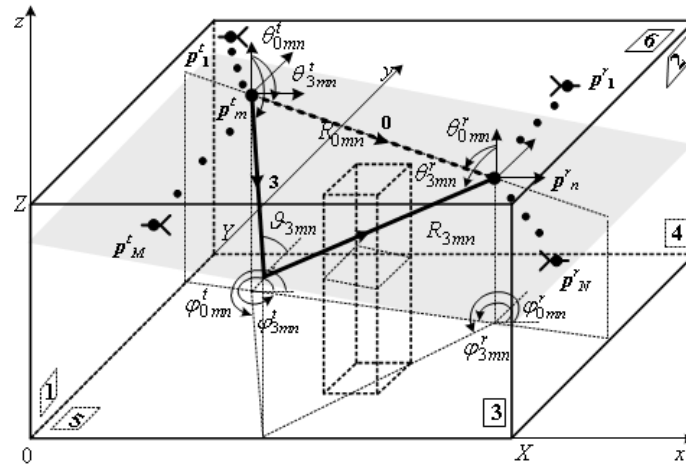


Рис. 1. Геометрия задачи

Для решения задачи введена глобальная декартова система координат (ДСК) (x, y, z) , главные плоскости которой совмещены с поверхностями параллелепипеда, имитирующего помещение. Также введены две локальные ДСК, полученные параллельным переносом глобальной ДСК в фазовые центры (центры излучения) передающей $p_m^t = (x_m^t, y_m^t, z_m^t)$ и приемной $p_n^r = (x_n^r, y_n^r, z_n^r)$ антенн.

Поляризационный коэффициент передачи прямого луча θ представляет собой множитель L_{0mn}^{pol} из (1) и определяет степень рассогласования передающей и приемной антенн по поляризации вследствие особенностей их конструкций и взаимного позиционирования. Этот коэффициент отвечает требованию $0 \leq |L_{0mn}^{pol}| \leq 1$ и определяется как скалярное произведение единичных векторов поляризации передающей и приёмной антенн (символ «*» означает комплексное сопряжение):

$$L_{0mn}^{pol}(p_n^r, p_m^t) = \vec{\xi}_m^t(p_n^r, p_m^t) \cdot \vec{\xi}_n^{r*}(p_n^r, p_m^t). \quad (2)$$

Векторы $\vec{\xi}_m^t$ и $\vec{\xi}_n^r$ задаются комплексными векторными нормированными характеристиками направленности антенн и выражаются в общем поляризационном базисе в принадлежащей приемной антенне локальной сферической системе координат (ССК).

Характерной особенностью ММО-систем является произвольная и часто непредсказуемая ориентация антенн. Учитывая конструкции антенн, используемых в локальных ММО-системах, изменение их положения в пространстве удобно задавать вращением вокруг координатных осей локальных ДСК, например, последовательно вокруг осей x, y, z в положительном направлении на углы ψ_x, ψ_y, ψ_z .

В этом случае в выражении (2) под векторами $\vec{\xi}_m^t$ и $\vec{\xi}_n^r$ понимаются векторы поляризации, пересчитанные из исходной («повернутой») локальной ССК в сферическую систему, связанную с локальной ДСК соответствующей антенны:

$$\vec{\xi}_m^t = \vec{\xi}_{0m}^t \cdot \Omega \cdot \Psi_m^t \cdot \Omega^T, \quad \vec{\xi}_n^r = \vec{\xi}_{0n}^r \cdot \Omega \cdot \Psi_n^r \cdot \Omega^T,$$

где $\vec{\xi}_{0m}^t$ и $\vec{\xi}_{0n}^r$ – векторы поляризации антенн в исходной ССК; Ψ_n^t и Ψ_n^r – матрицы перехода от старого репера к новому, для заданной последовательности вращений вокруг осей ДСК имеющие одинаковую структуру вида

$$\Psi = \begin{pmatrix} \cos\psi_y \cos\psi_z & \cos\psi_x \sin\psi_z + \sin\psi_x \sin\psi_y \cos\psi_z & \sin\psi_x \sin\psi_z - \cos\psi_x \sin\psi_y \cos\psi_z \\ -\cos\psi_y \sin\psi_z & \cos\psi_x \cos\psi_z - \sin\psi_x \sin\psi_y \sin\psi_z & \sin\psi_x \cos\psi_z + \cos\psi_x \sin\psi_y \sin\psi_z \\ \sin\psi_y & -\sin\psi_x \cos\psi_y & \cos\psi_x \cos\psi_y \end{pmatrix};$$

Ω – матрица перехода от базиса ССК к базису ДСК:

$$\Omega = \begin{pmatrix} \sin\theta \cos\varphi & \sin\theta \sin\varphi & \cos\theta \\ \cos\theta \cos\varphi & \cos\theta \sin\varphi & -\sin\theta \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \end{pmatrix}.$$

Поляризационные коэффициенты передачи по полю для лучей различных механизмов распространения входят в состав множителя влияния среды V_{mn} в выражении (1). Величина V_{mn} в приближении геометрической оптики учитывает многолучевое распространение сигнала и характеризует амплитудные, фазовые и поляризационные параметры каждого из отраженных, преломленных или дифракционных лучей [10]:

$$V_{mn} = V_{mn}^{refl} + V_{mn}^{pass} + V_{mn}^{difr}.$$

Для луча, отразившегося от поверхности s , его вклад в общее выражение для множителя влияния среды V_{mn} можно записать в виде

$$V_{snn}^{refl} = \frac{L_{snn}^{pol} F_m^t(\theta_{snn}^t, \varphi_{snn}^t) F_n^r(\theta_{snn}^r, \varphi_{snn}^r) R_{0nn}}{L_{0nn}^{pol} F_m^t(\theta_{0nn}^t, \varphi_{0nn}^t) F_n^r(\theta_{0nn}^r, \varphi_{0nn}^r) R_{snn}} e^{-jk_m(R_{snn} - R_{0nn})}, \quad (3)$$

где $L_{snn}^{pol} = \vec{\xi}_{sm}^t \cdot \vec{\xi}_{0n}^{r*}$ – поляризационный коэффициент передачи луча s ; $\vec{\xi}_{sm}^t$ – единичный вектор поляризации отраженной радиоволны в точке приема:

$$\vec{\xi}_{sm}^t = \vec{\xi}_{0m}^t \cdot \Omega \cdot \Psi_m^t \cdot P_{snn} \cdot R_{snn} \cdot P_{sm}^{-1} \cdot \Omega^T; \quad (4)$$

P_{snn} и P_{snn}^{-1} – векторная функция, формирующая параллельную $\xi_{||sm}^t$ и перпендикулярную $\xi_{\perp sm}^t$ составляющие вектора поляризации относительно плоскости падения волны на поверхность s , и функция, выполняющая обратный переход к трем декартовым составляющим вектора поляризации; $R_{snn} = (R_{||snn}(\mathcal{G}_{snn}) \quad R_{\perp snn}(\mathcal{G}_{snn}))^T$ – вектор-столбец, содержащий коэффициенты отражения от поверхности s для параллельной и перпендикулярной составляющих падающей волны.

Парциальный множитель влияния среды для луча, прошедшего сквозь препятствие (последовательно преломленного на поверхностях S и S') вычисляется аналогично (3):

$$V_{ss'mn}^{pass} = \frac{L_{ss'mn}^{pol} F_m^t(\theta_{ss'mn}^t, \varphi_{ss'mn}^t) F_n^r(\theta_{ss'mn}^r, \varphi_{ss'mn}^r) R_{0mn}}{L_{0mn}^{pol} F_m^t(\theta_{0mn}^t, \varphi_{0mn}^t) F_n^r(\theta_{0mn}^r, \varphi_{0mn}^r) R_{ss'mn}} e^{-jk_m(R_{ss'mn} - R_{0mn})}.$$

Входящий в его состав поляризационный коэффициент передачи дважды преломленного луча $L_{ss'mn}^{pol} = \vec{\xi}_{ss'm}^t \cdot \vec{\xi}_{0n}^{r*}$ определяется коэффициентами преломления на первой $T_{||smn}(\mathcal{G}_{smn})$, $T_{\perp smn}(\mathcal{G}_{smn})$ и второй $T_{||s'mn}(\mathcal{G}_{s'mn})$, $T_{\perp s'mn}(\mathcal{G}_{s'mn})$ границах. На основе (4) вектор поляризации прошедшей сквозь поверхности S и S' волны получается в виде

$$\vec{\xi}_{ss'm}^t = \vec{\xi}_{0m}^t \cdot \Omega \cdot \Psi_m^t \cdot P_{smn} \cdot T_{smn} \cdot P_{smn}^{-1} \cdot P_{s'mn} \cdot T_{s'mn} \cdot P_{s'mn}^{-1} \cdot \Omega^T.$$

Парциальный множитель влияния среды для луча, дифрагировавшего на неоднородности поверхности s , также определяется аналогично (3):

$$V_{smn}^{difr} = \frac{L_{smn}^{pol} F_m^t(\theta_{smn}^t, \varphi_{smn}^t) F_n^r(\theta_{smn}^r, \varphi_{smn}^r) R_{0mn}}{L_{0mn}^{pol} F_m^t(\theta_{0mn}^t, \varphi_{0mn}^t) F_n^r(\theta_{0mn}^r, \varphi_{0mn}^r) R_{smn}} e^{-jk_m(R_{smn} - R_{0mn})}.$$

Выражение для поляризационного коэффициента передачи по полю имеет такую же структуру, как и для отраженного луча: $L_{smn}^{pol} = \vec{\xi}_{sm}^t \cdot \vec{\xi}_{0n}^{r*}$. Отличие состоит в том, что используются коэффициенты дифракции для параллельной $D_{||smn}(\mathcal{G}_{smn})$ и перпендикулярной $D_{\perp smn}(\mathcal{G}_{smn})$ поляризаций:

$$\vec{\xi}_{sm}^t = \vec{\xi}_{0m}^t \cdot \Omega \cdot \Psi_m^t \cdot P_{smn} \cdot D_{smn} \cdot P_{smn}^{-1} \cdot \Omega^T.$$

Моделирование поляризационных эффектов в канале ММО-системы стандарта IEEE 802.11 b/g для помещения с размерами 10 x 20 x 5 м, содержащего вертикальное препятствие 1 x 1 м, выполнено в горизонтальной плоскости на высоте 1 м. Передающая и приемная антенны являются полуволновыми вибраторами.

На рис. 2 представлены результаты серии расчетов для прямого луча и для лучей, отраженных от внутренних поверхностей помещения. Приемный вибратор расположен вертикально: $\psi_{xn}^r = 0$, $\psi_{yn}^r = 0$, ориентация передающего вибратора задается углами поворотов вокруг осей $\psi_{xm}^t = 20^\circ$, $\psi_{ym}^t = 30^\circ$.

Модули поляризационных коэффициентов передачи лучей, отраженных от стен (поверхности **1**, **2**, **3** и **4**), существенно зависят от положения приемной антенны, и на значительной площади горизонтального сечения объема помещения наблюдается переход вектора поляризации радиоволны на кросс-поляризацию. Для лучей, отраженных от пола и потолка (поверхности **5** и **6**), области согласованности по поляризации передающей и приемной антенн существенно меньше, что объясняется ориентациями антенн, близкими к вертикальной, и существенным влиянием направленных свойств полуволновых вибраторов в этих направлениях.

Поскольку изменение ориентации антенн в пространстве в значительной мере влияет на поляризационную картину в объеме помещения, скорректировать распределение поляризационного коэффициента передачи можно поворотом приемной антенны. На рис. 3 приведен пример расчета поляризационного покрытия горизонтального сечения помещения лучом, отраженным от поверхности **4** при фиксированном положении передающего вибратора $\psi_{xm}^t = 10^\circ$, $\psi_{ym}^t = 20^\circ$ и изменении ориентации приемного вибратора. Видно, что путем поворота приемной антенны можно скорректировать распределение зон с поляризационным коэффициентом передачи, близким к 1.

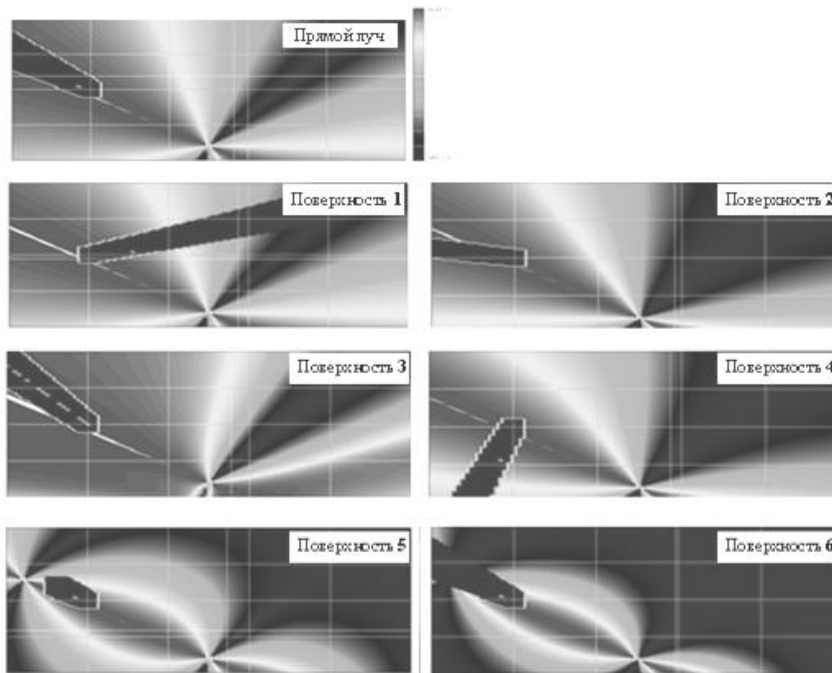


Рис. 2. Распределение модуля поляризационного коэффициента передачи по полю для прямого луча и лучей, отраженных от внутренних поверхностей помещения

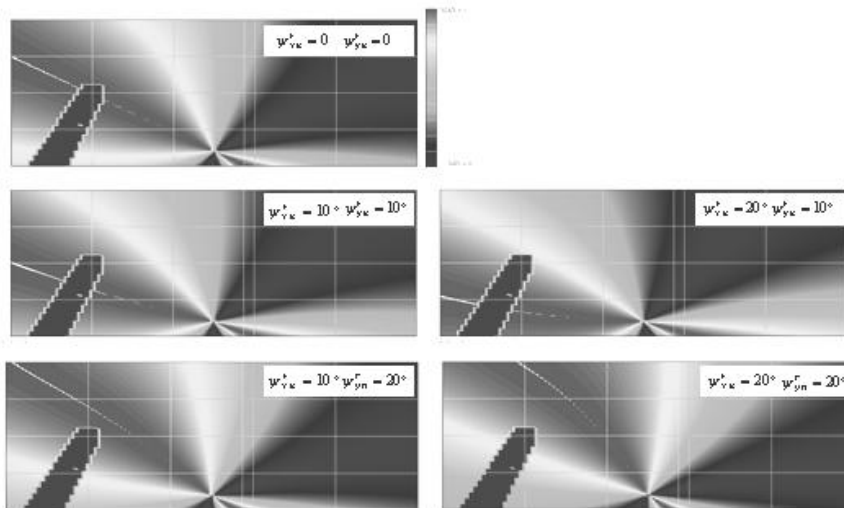


Рис. 3. Распределение модуля поляризационного коэффициента передачи по полю для луча, отраженного от внутренней поверхности 4

Таким образом, моделирование распределения поляризационного коэффициента передачи локальной ММО-системы демонстрирует изменение поляризации радиоволн от согласованной до кросс-поляризации, что оказывает существенное влияние на величину сигнала в приемной антенне. Предложенный подход позво-

ляет дать количественную оценку поляризационной эффективности канала локальной ММО-системы в конкретном помещении и может быть полезен для обеспечения равномерного покрытия зоны обслуживания сети связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Foschini G.J., Gans V.J. On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas // *Wireless Personal Communications*. – 1998. – No. 3. – P. 311-335.
2. Слюсар В. Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов // *Электроника: Наука, технология, бизнес*. – 2005. – № 8. – С. 52-58.
3. Ермолаев В.Т., Мальцев А.А., Флакман А.Г., Маврычев Е.А., Тираспольский С.А., Болховская О.В. Применение адаптивных антенных решеток для повышения скорости передачи информации // *Труды Научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2002*. – С. 22-28.
4. Серебряков Г.В. Пропускная способность антенных решеток с квадратичной обработкой в случайном канале // *Актуальные проблемы статистической радиофизики (Малаховский сборник)*. – 2005. – Т. 4. – С. 53-59.
5. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г., Лысяков Д.Н. Эффективность пространственного разделения пользователей в CDMA-системах связи в релейском федингуемом канале с частотной дисперсией // *Актуальные проблемы статистической радиофизики (Малаховский сборник)*. – 2006. – Т. 5. – С. 136-147.
6. Пономарев Г.А., Куликов А.М., Тельпуховский Е.Д. Распространение УКВ в городе. – Томск: МП «Раско», 1991. – 222 с.
7. Милотин Е.Р. и др. Методы расчета поля в системах связи дециметрового диапазона. – СПб.: Трида, 2003. – 159 с.
8. Кисель Н.Н., Грищенко С.Г., Кардос Д.А. Оптимизация параметров комбинированной микрополосковой антенны // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2012. – № 11 (136). – С. 25-31.
9. Панычев А.И. Алгоритм трехмерной трассировки радиоволн локальной беспроводной сети // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2012. – № 11 (136). – С. 31-41.
10. Панычев А.И. Трассировка многолучевого распространения радиоволн внутри зданий // *Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия «Общие вопросы радиоэлектроники (ОВР)»*. Научн.-техн. сборник. – Москва-Таганрог, 2012. – Вып. 1. – С. 182-187.

REFERENCES

1. Foschini G.J., Gans V.J. On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas, *Wireless Personal Communications*, 1998, No. 3, pp. 311-335.
2. Slyusar V. Sistemy MIMO: printsipy postroeniya i obrabotka signalov [The MIMO systems: principles and signal processing], *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes* [Electronics: Science, technology, business], 2005, No. 8, pp. 52-58.
3. Ermolaev V.T., Mal'tsev A.A., Flaksman A.G., Mavrychev E.A., Tiraspol'skiy S.A., Bolkhovskaya O.V. Primenenie adaptivnykh antennykh reshetok dlya povysheniya skorosti peredachi informatsii [The application of adaptive antenna arrays to increase the speed of information transmission], *Trudy Nauchnoy konferentsii po radiofizike, NNGU, 2002* [Proceedings of Scientific conference on Radiophysics, Nizhny Novgorod University, 2002], pp. 22-28.
4. Serebryakov G.V. Propusknaya sposobnost' antennykh reshetok s kvadrachnoy obrabotkoy v sluchaynom kanale [The bandwidth of antenna arrays with quadratic processing in random channel], *Aktual'nye problemy statisticheskoy radiofiziki (Malakhovskiy sbornik)* [Actual problems of statistical Radiophysics (Malakhovsky collection)], 2005, Vol. 4, pp. 53-59.
5. Ermolaev V.T., Flaksman A.G., Lysakov D.N. Effektivnost' prostranstvennogo razdeleniya pol'zovateley v CDMA-sistemakh svyazi v releevskom fedinguyushchem kanale s chastotnoy dispersiyey [The effectiveness of spatial separation of users in CDMA communication systems in Rayleigh thedinghausen channel with frequency dispersion], *Aktual'nye problemy statisticheskoy radiofiziki (Malakhovskiy sbornik)* [Actual problems of statistical Radiophysics (Malakhovsky collection)], 2006, Vol. 5, pp. 136-147.

6. Ponomarev G.A., Kulikov A.M., Tel'pukhovskiy E.D. Rasprostranenie UKV v gorode [The distribution of VHF in the city]. Tomsk: MP «Rasko», 1991, 222 p.
7. Milyutin E.R. i dr. Metody rascheta polya v sistemakh svyazi detsimetrovogo diapazona [Methods of calculation fields in communication systems UHF]. St. Petersburg: Triada, 2003, 159 p.
8. Kisel' N.N., Grishchenko S.G., Kardos D.A. Optimizatsiya parametrov kombinirovannoy mikropoloskovoy anteny [Optimisation dual-resonant patch antenna], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 25-31.
9. Panychev A.I. Algoritm trekhmernoy trassirovki radiovoln lokal'noy besprovodnoy seti [The algorithm of three-dimensional trace radio waves wireless lan], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 11 (136), pp. 31-41.
10. Panychev A.I. Trassirovka mnogoluchevogo rasprostraneniya radiovoln vnutri zdaniy [Tracing of multipath radio propagation inside buildings], *Voprosy spetsial'noy radioelektroniki. Seriya «Obshchie voprosy radioelektroniki (OVR)»*. Nauchn.-tekhn. sbornik [Issues of special electronics. A series of General questions Radioelectronics (OVR)". .technology. collection. Moscow-Taganrog, 2012, Issue 1, pp. 182-187.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Панычев Андрей Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: ruu2011@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634 371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; к.т.н.; доцент.

Panychev Andrey Ivanovich – Southern Federal University, e-mail: ruu2011@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371733; the department of antennas and radio transmitters, cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 621.396.677

Н.В. Шацкий, С.А. Головань, А.Г. Стрижак, В.Н. Шацкий

МЕТОД КОНТРОЛЯ МОНОИМПУЛЬСНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Широкое использование фазированных антенных решеток в радиолокации, ужесточающиеся требования по помехозащищенности, реализованное обеспечение постоянного мониторинга пространства вызывают необходимость разработки новых методов контроля антенной системы. На основе оригинального подхода и технических решений предлагаются методические основы подхода к построению систем оперативного контроля малоэлементной ФАР радиопеленгатора при пеленгации цели как с известными, так и неизвестными координатами, обеспечивающего независимость от режима работы самого пеленгатора. Предлагаемый метод контроля наиболее эффективен для оценки работоспособности фазированной антенной решетки с небольшим числом каналов (при увеличении числа элементов растет погрешность определения искомым параметров). Метод не имеет ограничений и может быть без особых затруднений реализован в существующих радиотехнических системах с современными системами когерентного распределения сигналов дискретизации, синхронизации, гетеродина и контрольного сигнала, а также системой цифровой обработки радиолокационных сигналов.

Фазированная антенная решётка; моноимпульсная радиолокация; диаграмма направленности; отказы; координаты объекта; дальность действия; пеленг цели; метод контроля; синхронное изменение фазы.