

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МИМО-КАНАЛА С ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ РАЗНЕСЕНИЕМ

Рассмотрены электродинамические методы разнесения каналов для реализации технологии МИМО. На основе электродинамической модели, которая позволяет учесть реальные электродинамические характеристики и потенциальные возможности антенных систем, проведено исследование пропускной способности МИМО-канала с поляризационным разнесением. Полученные результаты могут быть использованы при моделировании МИМО-канала с различными типами излучателей с целью дальнейшего повышения скорости передачи информации в канале.

Ключевые слова: поляризационное разнесение каналов, пропускная способность МИМО-канала, электродинамическая модель канала, двухзаходная цилиндрическая спиральная антенна, коэффициент передачи

I.YU. ROZHNOVSKAYA

Odessa National Academy of Telecommunications n.a.A.S. Popov

RESEARCH OF CAPACITY OF THE MIMO-CHANNEL WITH POLARIZATION DIVERSITY

Electromagnetic methods of the channel diversity for MIMO technology realization are considered. On the basis of the electromagnetic model which allows considering the real electromagnetic characteristics and potential opportunities of antenna systems, capacity of the MIMO-channel with polarization diversity is researched. The research results can be used when modeling the MIMO-channel with various types of antennas for the purpose of the further increase of information transfer speed in the channel.

Keywords: polarization channel diversity, MIMO-channel capacity, electromagnetic channel model, combined helical antenna, transmission coefficient

Введение

В современных высокоскоростных стандартах передачи данных, таких как LTE, UMB и WiMAX, для повышения пропускной способности многолучевого радиоканала, борьбы с замираниями и, как следствие, повышения скорости передачи данных предлагается использование технологии многоантенного приема и передачи МИМО (Multiple Input Multiple Output) [1 — 4] наряду с различными методами разнесения сигналов для организации независимых (слабозависимых) каналов. Основным критерием применимости того или иного метода разнесения является степень корреляции замираний разнесенных радиосигналов [5, 6], а также аппаратная реализация метода или нескольких методов одновременно. В [5, 6] проведен анализ возможности реализации методов разнесения с учетом как электродинамических и конструктивных особенностей антенной системы, возможности управления направленными и поляризационными характеристиками отдельных лучей и антенны в целом, так и пространственно-поляризационных особенностей распространения электромагнитных волн в условиях многолучевого канала, и показано, что наиболее реализуемыми с электродинамической точки зрения являются методы углового и поляризационного разнесения.

Метод углового разнесения каналов основывается на возможности формирования многолепестковой диаграммы направленности антенны, что достигается путем использования в высокочастотном тракте антенной системы диаграммообразующей схемы, которая обеспечивает добавление соответствующего фазового сдвига радиосигналам от каждого антенного элемента. Степень корреляции радиосигналов можно уменьшить, увеличивая угловое разнесение отдельных лучей, однако максимальное угловое разнесение при этом непосредственно зависит от расстояния между антенными элементами и, соответственно, ограничено габаритными размерами антенной системы [5, 6]. Анализ возможности использования метода углового разнесения для МИМО технологии показал, что при расстоянии между антенными элементами $0,5\lambda$, максимальное угловое разнесение отдельных лучей будет не более 30 град. [5].

Постановка задачи

В [7] на основе экспериментальных результатов утверждается, что многолучевость изменяет поляризацию электромагнитной волны и около 80 % всех замираний имеют поляризационную природу, то есть, обусловлены случайными изменениями поляризации принимаемого радиосигнала. Следовательно, метод поляризационного разнесения можно считать основным электродинамическим методом технологии МИМО. Поэтому **цель данной статьи** — исследование пропускной способности МИМО-канала с поляризационным разнесением.

Основная часть

Исследование пропускной способности МИМО-канала с поляризационным разнесением проведем на основе электродинамической модели радиолинии, полученной в [8] с использованием программной среды моделирования FEKO [9].

При моделировании МИМО-канала для организации некоррелированных каналов применим поляризационное разнесение. Передающие антенны излучают электромагнитные волны ортогональной

поляризації +45 град. и –45 град. соответственно. Исследования проведем на средней частоте диапазона $f = 2,55$ ГГц. Исследуемая простейшая радиолиния ММО-канала образована двумя передающими и двумя приемными антеннами, согласованными с линиями передачи по волновому сопротивлению на средней частоте диапазона ($K_{CB} = 1,05$). В качестве антенн выступают совмещенные двухзаходные цилиндрические спиральные антенны со следующими геометрическими параметрами: радиус цилиндрической поверхности $a = 1,53$ см, угол подъема витка (намотки) спирали $\gamma = 14$ град., количество витков спирали $n = 7$, радиус излучающего проводника спирали $r_{пр} = 1$ мм [10].

В результате моделирования определим комплексные амплитуды токов на входах передающих антенн \dot{I}_{T_1} и \dot{I}_{T_2} и на выходах приемных антенн \dot{I}_{R_1} и \dot{I}_{R_2} при изменении угла вращения приемных антенн вокруг оси спиралей в пределах $\gamma_0 = -90 \dots 90$ град. Результаты моделирования в виде комплексных амплитуд токов (амплитуд и фаз) на входах передающих антенн \dot{I}_{T_1} и \dot{I}_{T_2} на выходах приемных антенн \dot{I}_{R_1} и \dot{I}_{R_2} представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость токов на передающих и приемных антеннах от угла поворота приемной антенны

γ_0 , град.	\dot{I}_{T_1} , мА	\dot{I}_{T_2} , мА	\dot{I}_{R_1} , мкА	\dot{I}_{R_2} , мкА
–90	$20,9 e^{j0^\circ}$	$20,6 e^{j0^\circ}$	$16,8 e^{-j115^\circ}$	$15,9 e^{-j121^\circ}$
–45	$20,9 e^{j0^\circ}$	$20,6 e^{j0^\circ}$	$23,3 e^{-j116^\circ}$	$0,95 e^{j113^\circ}$
0	$20,9 e^{j0^\circ}$	$20,6 e^{j0^\circ}$	$16,2 e^{-j119^\circ}$	$17 e^{j61^\circ}$
+45	$20,9 e^{j0^\circ}$	$20,6 e^{j0^\circ}$	$0,75 e^{j125^\circ}$	$23,3 e^{j59^\circ}$
+90	$20,9 e^{j0^\circ}$	$20,6 e^{j0^\circ}$	$16,8 e^{j64^\circ}$	$15,9 e^{j56^\circ}$

Для наглядного анализа ортогонального поляризационного разнесения определим коэффициенты передачи $|\dot{S}_{RT_1}^+|$ и $|\dot{S}_{RT_2}^+|$ для каждого из двух каналов посредством предложенной в [8] электродинамической модели, которая описывается следующим выражением:

$$\dot{S}_{21} = \frac{\dot{I}_2 \sqrt{R_{22}}}{\dot{I}_1 \sqrt{R_{11}}} \quad (1)$$

Зависимости модуля коэффициентов передачи $|\dot{S}_{RT_1}^+|$ и $|\dot{S}_{RT_2}^+|$ от изменения угла вращения приемной антенны вокруг оси спирали γ_0 показаны на рис. 1 пунктирной и штрихпунктирной линией соответственно, а сплошной линией показана зависимость модуля коэффициента передачи $|\dot{S}_{RT}|$, рассчитанного по «энергетической» модели [8], который является одинаковым как для первого, так и для второго независимых подканалов, так как не учитывает электродинамических особенностей распространения электромагнитных волн.

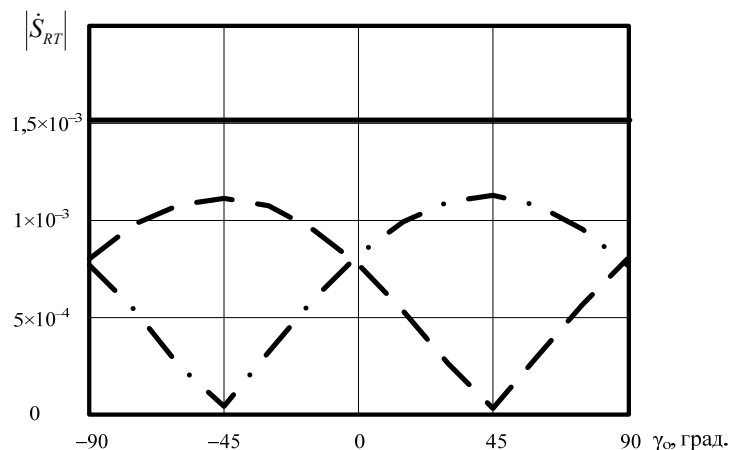


Рис. 1. Зависимости модуля коэффициентов передачи от угла поворота приемной антенны

Анализ зависимостей, представленных на рис. 1, показывает, что значения модуля коэффициента передачи, который рассчитан по электродинамической модели, меньше, чем значения, рассчитанные по

«энергетической» модели. Характер зависимостей модуля коэффициентов передачи $|\dot{S}_{RT_1}^+|$ и $|\dot{S}_{RT_2}^+|$ от изменения угла γ_0 наглядно демонстрирует ортогональность первого и второго подканалов.

Следует также отметить, что отличие максимальных значений $|\dot{S}_{RT_1}^+|$ и $|\dot{S}_{RT_2}^+|$, которые определяются при согласовании по поляризации излучения передающих и приемных антенн, от $|\dot{S}_{RT}|_3$ обусловлено взаимным влиянием передающих и приемных антенн и частичным рассогласованием по волновому сопротивлению. Из рис. 1 также видно, что частичное рассогласование по поляризации излучения передающих и приемных антенн приводит к увеличению разницы между коэффициентами передачи, которые определены с помощью «энергетической» и электродинамической моделей.

Следующим шагом исследования является непосредственный расчет удельной пропускной способности ММО-канала на основе значений коэффициентов передачи, полученных с помощью «энергетической» и электродинамической модели. Для этого воспользуемся формулой из [2], которая для данного случая примет вид

$$C'_{MIMO} = \log_2 \left(1 + \rho |\dot{S}_{RT_1}|^2 \right) + \log_2 \left(1 + \rho |\dot{S}_{RT_2}|^2 \right), \quad \text{бит/с/Гц}, \quad (2)$$

где $|\dot{S}_{RT_1}|^2$ и $|\dot{S}_{RT_2}|^2$ — коэффициенты передачи по мощности 1-го и 2-го независимого подканала соответственно, $\rho = \frac{P_t}{\sigma^2}$, P_t — общая излучаемая мощность сигнала, σ^2 — мощность шума. Согласно

выражению (2) определено, что удельная пропускная способность ММО-канала рассчитанная на основании коэффициента передачи $|\dot{S}_{RT}|_3$ составляет 3,445 бит/с/Гц. Результаты расчета удельной пропускной

способности ММО-канала на основании коэффициентов передачи $|\dot{S}_{RT_1}^+|$ и $|\dot{S}_{RT_2}^+|$ с учетом частичного рассогласования по поляризации излучения, по входному сопротивлению антенн и с учетом взаимного влияния антенн показывают, что в среднем значение удельной пропускной способности равно 2,026 бит/с/Гц. Полученные значения удельных пропускных способностей ММО-канала (3,445 бит/с/Гц и 2,026 бит/с/Гц) отличаются в среднем на 42 % за счет учета указанных выше электродинамических факторов. Очевидно, что обеспечение согласования передающих и приемных антенн по поляризации излучения, согласования антенн с линиями передачи по входному сопротивлению, а также уменьшение взаимного влияния антенн, позволит повысить реальную пропускную способность ММО-канала в среднем на 42 %.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что применение аналитической модели, учитывающей электродинамические возможности антенных систем и пространственно-поляризационные особенности распространения электромагнитных волн в условиях многолучевого канала, позволило проанализировать удельную пропускную способность ММО-канала с поляризационным разнесением и выявить, что взаимное влияние передающих и приемных антенн, частичное рассогласование по поляризации излучения и по волновому сопротивлению существенно влияет на величину значения удельной пропускной способности ММО-канала. Следует также отметить, что основываясь на электродинамической модели радиоканала можно анализировать эффективность реального ММО-канала с целью дальнейшего повышения скорости передачи информации в таком канале.

В заключение можно сказать следующее. В данной статье проведено исследование пропускной способности ММО-канала на основе электродинамической модели, которая позволяет учесть реальные электродинамические характеристики и потенциальные возможности антенных систем.

К направлениям дальнейших исследований в данной области следует отнести анализ ММО-канала произвольной конфигурации с целью повышения его пропускной способности посредством электродинамической модели при использовании антенных систем с разными типами излучателей, которые позволяют организовать различные методы разнесения каналов.

Литература

1. Вишневикий В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / Вишневикий В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. — М.: Техносфера, 2009. — 472 с.
2. Bizaki, H. K. *MIMO Systems, Theory and Applications*. N.p.: InTech, 2011.
3. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. — М.: Эко-Трендз, 2010. — 284 с.
4. Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма: учеб. пособие / [Немировский М.С., Шорин О.А., Бабин А.И., Сартаков А.Л.]; под ред. М.С. Немировского, О.А. Шорина. — М.: Эко-Трендз, 2010. — 400 с.
5. Проценко М.Б. Исследование электродинамических методов разнесения для ММО технологий / М.Б. Проценко, И.Ю. Рожновская // Нові технології в телекомунікаціях: V Міжн. наук.-техн. симпозіум,

17-21 січ. 2012 р.: тез. доп. / ДУІКТ. — К., 2012. — С. 25.

6. Немировский А.С. Борьба с замираниями при передаче аналоговых сигналов / Немировский А.С. — М.: Радио и связь, 1984. — 208 с.

7. Венскаускас К.К. Компенсация помех в судовых радиотехнических системах / К.К. Венскаускас. — Л.: Судостроение, 1989. — 264 с.

8. Проценко М.Б. Электродинамическая модель коэффициента передачи радиолнии / М.Б. Проценко, И.Ю. Рожновская // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. — 2012. — № 1. — С. 27 — 32.

9. Банков С.Е. Расчет излучаемых структур с помощью FEKO / С.Е. Банков, А.А. Курушин. — М.: ЗАО «НПП РОДНИК», 2008. — 246 с.

10. Рожновская И.Ю. Потенциальные свойства двухзаходного цилиндрического спирального излучателя в качестве элемента ММО-антенны / И.Ю. Рожновская // Цифрові технології. — 2013. — № 14. — С. 32-38.

Reference

1. Vishnevskij V.M. Jenciklopedija WiMAX. Put' k 4G / Vishnevskij V.M., Portnoj S.L., Shahnovich I.V. — М.: Tehnosfera, 2009. — 472 s.

2. Bizaki, H. K. MIMO Systems, Theory and Applications. N.p.: InTech, 2011.

3. Tihvinskij V.O. Seti mobil'noj svjazi LTE: tehnologii i arhitektura / Tihvinskij V.O., Terent'ev S.V., Jurchuk A.B. — М.: Jeko-Trendz, 2010. — 284 s.

4. Besprovodnye tehnologii ot poslednej mili do poslednego djujma: ucheb. posobie / [Nemirovskij M.S., Shorin O.A., Babin A.I., Sartakov A.L.]; pod red. M.S. Nemirovskogo, O.A. Shorina. — М.: Jeko-Trendz, 2010. — 400 s.

5. Procenko M.B. Issledovanie jelektrodinamicheskikh metodov raznesenija dlja MIMO tehnologii / M.B. Procenko, I.Ju. Rozhnovskaja // Novi tehnologii v telekomunikacijah: V Mizhnar. nauk.-tehn. simpozium, 17-21 sich. 2012 r.: tez. dop. / ДУІКТ. — К., 2012. — С. 25.

6. Nemirovskij A.S. Bor'ba s zamiraniyami pri peredache analogovyh signalov / Nemirovskij A.S. — М.: Radio i svjaz', 1984. — 208 s.

7. Venskauskas K.K. Kompensacija pomех v sudovyh radiotekhnicheskikh sistemah / K.K. Venskauskas. — Л.: Sudostroenie, 1989. — 264 s.

8. Procenko M.B. Jelektrodinamicheskaja model' koeficienta peredachi radiolnii / M.B. Procenko, I.Ju. Rozhnovskaja // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. — 2012. — № 1. — С. 27 — 32.

9. Bankov S.E. Raschet izluchaemyh struktur s pomoshh'ju FEKO / S.E. Bankov, A.A. Kurushin. — М.: ЗАО «NPP RODNIK», 2008. — 246 s.

10. Rozhnovskaja I.Ju. Potencial'nye svojstva dvuhzahonogo cilindricheskogo spiral'nogo izluchatelja v kachestve jelementa MIMO-antenny / I.Ju. Rozhnovskaja // Cifrovi tehnologii. — 2013. — № 14. — С. 32-38.

Рецензія/Peer review : 6.1.2015 р. Надрукована/Printed :24.1.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією