

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ МИМО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ РАДИОТРАКТА С ИСКУССТВЕННОЙ МНОГОЛУЧЕВОСТЬЮ

Паршин Ю.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой радиотехнических устройств Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: parshin.y.n@rsreu.ru

Комиссаров А.В., аспирант кафедры радиотехнических устройств Рязанского государственного радиотехнического университета

Ключевые слова: пропускная способность, МИМО, пространственная структура, пространственное кодирование, многолучевость, взаимное влияние антенных элементов.

Введение

Общей тенденцией развития современных телекоммуникационных систем является все более полное использование пространственного ресурса, который реализуется применением пространственного разнесения на прием и передачу. Это позволяет реализовать пространственное мультиплексирование и, таким образом, существенно повысить пропускную способность телекоммуникационных систем при наличии сильно развитой многолучевости [1-5] при фиксированной полосе частот и суммарной мощности излучаемых сигналов. В тех случаях, когда ранг канальной матрицы низкий, например, в условиях прямой видимости, в работах [8-11] предложено использовать искусственно созданную многолучевость путем размещения базовых станций в заранее определенных точках обслуживаемой территории. При этом дополнительный выигрыш может быть получен путем оптимизации пространственной структуры приемопередающего тракта [6, 7]. Разработка телекоммуникационных систем на основе искусственной многолучевости и согласованного с ней пространственного кодирования целесообразна при передаче мультимедийного трафика мобильным абонентам, в радиосистемах передачи информации при обслуживании открытой территории, для передачи данных с беспилотных летательных аппаратов. Целью данной работы является повышение пропускной способности МИМО системы с искусственной многолучевостью как путем выбора пространственной структуры, так и применением пространственного кодирования передаваемого сигнала при различных вариантах пространственных структур телекоммуникационной системы, с учетом взаимного влияния элементов антенной решетки.

Постановка задачи

Пространственная структура радиотракта МИМО системы связи характеризуется расположением N_{RX} приемных и N_{TX} передающих антенн в некоторой области пространства S . При этом совокупности приемных и передающих антенн образуют приемную и передающую антенные решетки (АР) соответственно. В общем случае антенны располагаются в 3-х мерном пространстве, а

Проведен анализ пропускной способности МИМО телекоммуникационной системы, использующей искусственную многолучевость. Проведена оптимизация пространственной структуры по критерию максимума пропускной способности. Пространственное кодирование передаваемого сигнала производится методом собственных лучей, а распределение мощности сигнала по собственным лучам на основе принципа «водозаполнения». Рассчитана пропускная способность МИМО системы связи с учетом взаимного влияния элементов приемной и передающей антенн.

пространственная структура системы связи задается набором координат передающих и приемных антенн $x_{TXi}, y_{TXi}, z_{TXi}, i = 1, \dots, N_{TX}, x_{RXj}, y_{RXj}, z_{RXj}, j = 1, \dots, N_{RX}$, заданных в долях длины рабочей волны. В дальнейшем рассматриваются следующие характерные случаи пространственных структур:

- электромагнитные волны, приходящие на каждую приемную антенну от каждой передающей антенны, имеют индивидуальный фронт (рис. 1а),
- электромагнитная волна, приходящая на приемную антенную решетку от каждой передающей антенны, имеет общий для каждой приемной антенны фронт (рис. 1б),
- электромагнитная волна, приходящая на приемную антенную решетку, имеет общий фронт для каждой передающей антенны (рис. 1с).

Матрица канальных коэффициентов $\mathbf{H} = \{h_{ij} = h_{ij} \exp \varphi_{ij}, i = 1, \dots, N_{RX}, j = 1, \dots, N_{TX}\}$, характеризующая распространение радиоволн от i -ой передающей антенны к j -ой приемной антенне, зависит от характера многолучевости. При естественной многолучевости канальные коэффициенты считаем независимыми комплексными случайными гауссовскими величинами с единичной дисперсией. В случае искусственной многолучевости распространение радиоволн идет прямым лучом, а прием осуществляется с помощью решетки из ненаправленных антенн. При этом модуль канального коэффициента и его фаза зависят от расстояния между антеннами и определяются следующими соотношениями:

$$h_{ij} = \left(4\pi \sqrt{(x_{TXi} - x_{RXj})^2 + (y_{TXi} - y_{RXj})^2 + (z_{TXi} - z_{RXj})^2} \right)^{-1},$$

а фазовый сдвиг по формуле:

$$\varphi_{ij} = 2\pi \sqrt{(x_{TXi} - x_{RXj})^2 + (y_{TXi} - y_{RXj})^2 + (z_{TXi} - z_{RXj})^2}.$$

Сигнал на выходе элементов приемной АР имеет вид:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{N}, \quad (1)$$

где \mathbf{X} - передаваемый сигнал, \mathbf{N} - вектор шумов приемного тракта.

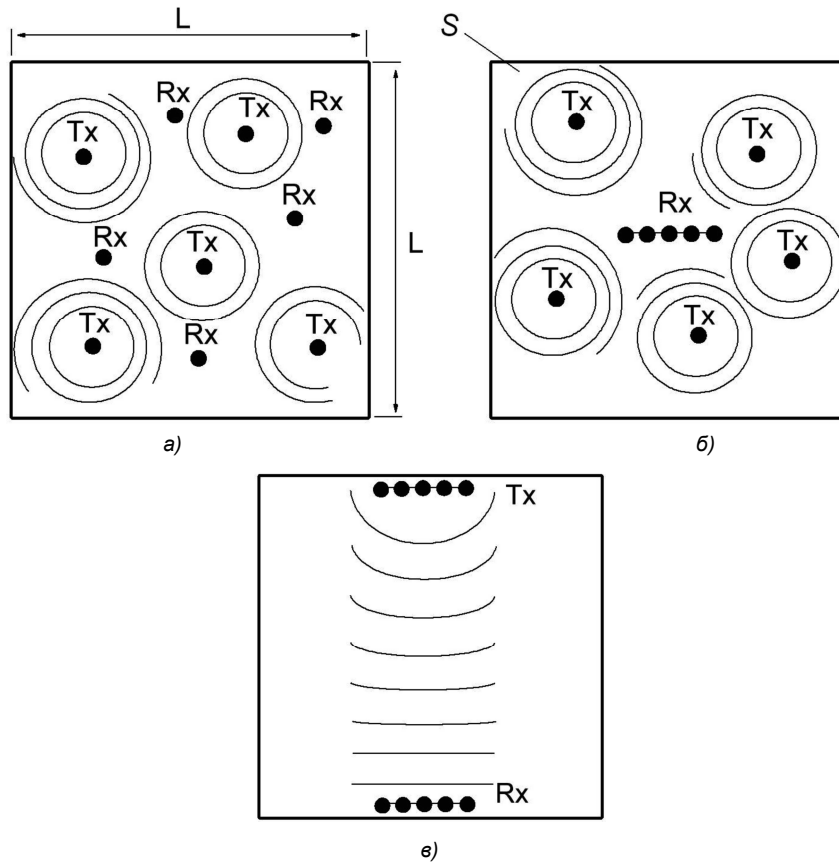


Рис. 1. Пространственные структуры системы связи

Пропускная способность ММО канала связи для заданной матрицы канальных коэффициентов определяется соотношением [1]:

$$C = \log_2 \det \left(\mathbf{I}_{NRX} + \frac{q}{N_{TX}} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \right) = \log_2 \det \left(\mathbf{I}_{NTX} + \frac{q}{N_{TX}} \mathbf{H}^H \mathbf{H} \right),$$

где $q = D_x / D_n$ энергетический потенциал системы, равный отношению мощности D_x , излучаемой всеми передающими антеннами, к мощности шума D_n в каждой приемной антенне.

В общем случае коррелированных передаваемых сигналов пропускная способность ММО канала связи определяется для заданной матрицы канальных коэффициентов соотношением [1]:

$$C = \log_2 \det \left(\mathbf{I}_{RTX} + \frac{1}{D_n} \mathbf{H} \mathbf{R} \mathbf{H}^H \right), \quad (2)$$

где $\mathbf{R} = \overline{\mathbf{X} \mathbf{X}^H}$ – корреляционная матрица передаваемого сигнала \mathbf{X} , D_n – мощность шума в каждой приемной антенне. В дальнейшем будем полагать, что пространственное кодирование не изменяет полную мощность сигнала, излучаемую всеми передающими антеннами: $D_x = \text{tr} \mathbf{R} = \text{const}$. Выражение для пропускной способности можно представить в виде, характерном для пропускной способности нескольких параллельных каналов:

$$C = \sum_{k=1}^K \log_2 (1 + \lambda_k \alpha_k),$$

где $\lambda_i, \alpha_k, i = 1, \dots, K$ – собственные числа матриц $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$ и \mathbf{R} соответственно.

Положим, что исходный сигнал \mathbf{S} представляет собой совокупность независимых гауссовских случайных чисел с постоянной дисперсией. Пространственное кодирование описывается матричным линейным преобразованием $\mathbf{X} = \mathbf{F} \mathbf{S}$,

где кодирующая матрица $\mathbf{F} = \mathbf{V} \mathbf{\Phi}$ определяется матрицей ортонормированных собственных векторов \mathbf{V} , получаемой из разложения $\mathbf{H}^H \mathbf{H} = \mathbf{V} \mathbf{\Lambda}^{-1} \mathbf{V}^H$, а также диагональной матрицей $\mathbf{\Phi} = \{\phi_{ii}, i = 1, \dots, K\}$, задающей распределение мощности сигнала по собственным лучам [4]. При этом корреляционная матрица сигнала \mathbf{R} равна: $\mathbf{R} = \overline{\mathbf{V} \mathbf{S} (\mathbf{V} \mathbf{S})^H} = \mathbf{V} \mathbf{P} \mathbf{V}^H$, где $\mathbf{P} = \{p_{ii}, i = 1, \dots, K\}$ – диагональная матрица распределение мощности многомерного сигнала, составленная из собственных чисел матрицы \mathbf{R} .

Для получения максимальной пропускной способности необходимо выбирать распределение мощности сигнала по принципу «водозаполнения» [4]: $\phi_{ii} = \left(\mu - \frac{D_n}{\lambda_{ii}} \right)^+$, где коэффициент μ выбирается из условия $\sum_{i=1}^K \phi_{ii}^2 = 1$,

$\mathbf{\Lambda} = \{\lambda_{ii}, i = 1, \dots, K\}$ – диагональная матрица собственных чисел, $(x)^+ = \{x, x > 0; 0, x \leq 0\}$.

Рассмотренное пространственное кодирование реализуется в MIMO системах с обратной связью (CLTD). Если сведения о матрице канальных коэффициентов на передающей стороне неизвестны (OLTD), то наилучшим распределением мощности является равномерное распределение $\phi_{ii}^2 = 1/K$ [2], а пространственное кодирование не используется: $\underline{\mathbf{X}} = \underline{\mathbf{S}}$.

Анализ пропускной способности системы связи без учета взаимного влияния антенн

Анализ пропускной средней способности проведен методом статистического моделирования при заданных энергетическом потенциале системы q , размере L квадратной области S , выраженный в долях длины волны; все антенны расположены в горизонтальной плоскости $z_{TXi} = z_{RXj} = 0, \forall i, j$.

На рис. 2 приведены зависимости усредненной пропускной способности от числа антенн $N_a = N_{TX} = N_{RX}$ при $q = 10^{11}$. Размер квадратной области S равен $L = 1000$ длин волн; все антенны расположены в одной плоскости, что позволяет принять $z_{TXi} = z_{RXi} = 0, \forall i, j$. Усреднение производилось по ансамблю пространственных структур, которые задавались следующим образом:

- канальные коэффициенты являются независимыми гауссовскими случайными числами, что характерно для естественной многолучевости,
- координаты $x_{TXi}, x_{RXi}, y_{TXi}, y_{RXi}$ принимают случайные значения, равномерно распределенные на интервале $[0, L]$ (рис. 1а),

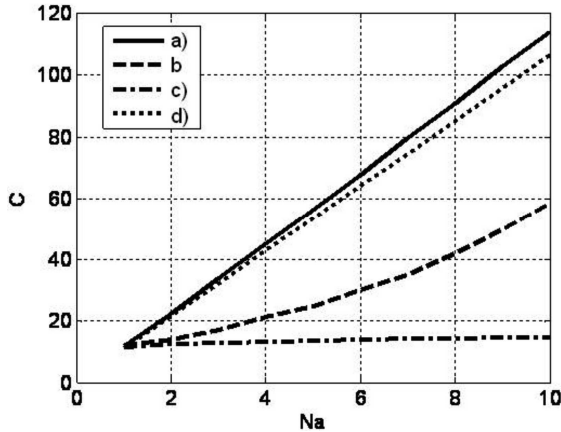


Рис. 2. Пропускная способность канала связи с естественной многолучевостью

- координаты передающей AP, x_{RXi}, y_{RXi} принимают случайные значения, равномерно распределенные на интервале $[0, L]$, а координаты приемной AP x_{TXi}, y_{TXi} сгруппированы в окрестности точки $(x_{OTX} = 500, y_{OTX} = 500)$ и образуют эквидистантную $\lambda/2$ линейную AP, ориентированную в горизонтальной плоскости (рис. 1б),

- координаты передающей AP x_{TXi}, y_{TXi} сгруппированы в окрестности точки $(x_{OTX} = 500, y_{OTX} = 0)$, а координаты приемной AP, x_{RXi}, y_{RXi} сгруппированы в окрестности точки $(x_{ORX} = 500, y_{ORX} = 1000)$ и обе решетки являются эквидистантными $\lambda/2$ линейными AP, ориентированными в горизонтальной плоскости (рис. 1с).

Моделирование пропускной способности при различ-

ных пространственных структурах передающей части MIMO системы связи показало, что усредненная пропускная способность изменялась в пределах 10..20% [8], что доказывает существенное влияние пространственной структуры передающей части рис. 1б на пропускную способность.

При оптимизации пространственной структуры передающей части критерием качества выбран максимум пропускной способности при ограничении на неравномерность ее изменения на области S . Рассчитывалась усредненная по всем возможным координатам расположения приемной AP пропускная способность:

$$C_{cp} = \frac{1}{L^2} \sum_{x_{RX}=1}^L \sum_{y_{RX}=1}^L C(x_{RX}, y_{RX}),$$

а для случая пространственного кодирования усреднение производилось по ансамблю различных пространственных структур. Естественная многолучевость, обусловленная отражениями от местных предметов, в данном случае не учитывалась. Оптимизация пространственной структуры передающей части позволила повысить пропускную способность MIMO системы связи в среднем на 5..15%, в зависимости от числа антенн и размеров области S [9]. Сравнение пропускной способности, при наличии и отсутствии пространственного кодирования и равномерном распределении мощности сигнала по передающим антеннам, показало выигрыш 10..25% в пропускной способности от применения пространственного кодирования [11].

Взаимное влияние антенн на пропускную способность MIMO канала связи при наличии искусственной многолучевости

Рассмотрим MIMO систему связи, состоящую из N_{TX} передающих и N_{RX} приемных антенн. Приемные антенны образуют линейную эквидистантную антенную решетку (АР) длины L_A (рис.1б). В большинстве мобильных приложений существуют ограничения на размер антенной системы. При достаточно близком расположении элементов АР становится заметным взаимное влияние сигналов различных элементов АР. В MIMO системах связи взаимное влияние антенн приводит к увеличению корреляции между излучаемыми (принимаемыми) сигналами и, следовательно, к уменьшению пропускной способности канала связи.

Взаимное влияние элементов АР учитывается матрицей взаимных импедансов антенн $\underline{\mathbf{Z}} = \{\underline{Z}_{mn}, m, n = 1, \dots, N_{RX} (N_{TX})\}$, причем $\underline{Z}_{mn} = \underline{Z}_{nm}$. Напряженность электрического поля $\underline{\mathbf{E}} = \{\underline{E}_i, i = 1, \dots, N_{RX}\}$ связана с токами в вибраторах $\underline{\mathbf{I}} = \{\underline{I}_i, i = 1, \dots, N_{RX}\}$ системой уравнений Кирхгофа: $\underline{\mathbf{E}} = \underline{\mathbf{Z}} \underline{\mathbf{I}}$. Соответственно, токи в элементах приемной АР задаются выражением: $\underline{\mathbf{I}} = \underline{\mathbf{Z}}^{-1} \underline{\mathbf{E}}$.

В качестве модели АР примем решетку из тонких вибраторов длиной $2l$, расположенных на расстоянии d , выражения для расчета взаимных импедансов которых имеют вид [12]:

$$\underline{Z}_{mn} = \frac{jW}{2\pi \sin kl} \times$$

$$\times \int_0^l (\alpha(z_m) + \beta(z_m) - \gamma(z_m)) \frac{\sin k(l - |z_m|)}{\sin kl} dz_m,$$

где $\alpha(z_m) = \frac{\exp(-jk\sqrt{d^2 + (z_m - l)^2})}{\sqrt{d^2 + (z_m - l)^2}},$

$$\beta(z_m) = \frac{\exp(-jk\sqrt{d^2 + (z_m + l)^2})}{\sqrt{d^2 + (z_m + l)^2}},$$

$$\gamma(z_m) = 2 \cos kl \frac{\exp(-jk\sqrt{d^2 + z_m^2})}{\sqrt{d^2 + z_m^2}}, \quad W = \frac{k}{\omega \epsilon_0}$$

сопротивление среды, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, $\epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi \text{ К}^2/\text{н} \cdot \text{м}^2$ – электрическая постоянная.

С учетом взаимовлияния элементов АР сигнал в линейном тракте приемника ММО системы связи определяется на основе выражения (1): $\underline{Y} = \underline{I} + \underline{N} = \underline{Z}^{-1} \underline{E} + \underline{N} = \underline{Z}^{-1} \underline{H} \underline{X} + \underline{N}$. Исходя из вышесказанного, формула пропускной способности ММО канала связи (2) принимает следующий вид:

$$C = \log_2 \det \left(\underline{I}_{RX} + \frac{1}{D_N} \underline{Z}_{RX}^{-1} \underline{H} \underline{H}^H (\underline{Z}_{RX}^{-1})^H \right). \quad (3)$$

При некоррелированных сигналах \underline{X} формула пропускной способности приводится к виду:

$$C = \log_2 \det \left(\underline{I}_{RX} + \frac{q}{N_{RX}} \underline{Z}_{RX}^{-1} \underline{H} \underline{H}^H (\underline{Z}_{RX}^{-1})^H \right). \quad (4)$$

В общем случае необходимо учитывать взаимное влияние как приемных, так и передающих антенн. Так как сигнал на выходе передающих антенн с учетом их взаимного влияния имеет вид: $\underline{U} = \underline{Z}_{TX} \underline{X}$, где \underline{Z}_{TX} – матрица импедансов передающих антенн, то сигнал на выходе приемных антенн равен: $\underline{Y} = \underline{Z}_{RX}^{-1} \underline{H} \underline{Z}_{TX} \underline{X} + \underline{N}$. Исходя из вышесказанного, формула пропускной способности ММО канала связи принимает следующий вид:

$$C = \log_2 \det \left(\underline{I}_{RX} + \frac{1}{D_N} \underline{Z}_{RX}^{-1} \underline{H} \underline{Z}_{TX} \underline{R} \underline{Z}_{TX}^H \underline{H}^H (\underline{Z}_{RX}^{-1})^H \right). \quad (5)$$

При некоррелированных сигналах \underline{X} формула пропускной способности приводится к виду:

$$C = \log_2 \det \left(\underline{I}_{RX} + \frac{q}{N_{TX}} \underline{Z}_{RX}^{-1} \underline{H} \underline{Z}_{TX} \underline{Z}_{TX}^H \underline{H}^H (\underline{Z}_{RX}^{-1})^H \right). \quad (6)$$

Влияние матрицы взаимных импедансов на пропускную способность при естественной многолучевости

Рассмотрим ММО систему связи, модель которой представлена на рис. 1б. Целью моделирования является определение влияния матрицы импедансов антенн приемной части на пропускную способность ММО канала связи. Энергетический потенциал системы равен $q = 10^{11}$. Передающие антенны распределены равномерно в области S . Полагается, что вследствие наличия местных отражателей в области S формируется сильно развитая

естественная многолучевость, что позволяет применить модель канальных коэффициентов в виде независимых случайных величин. Приемные антенны представляют собой эквидистантную антенную решетку размером $L_A = 1, 5, 10, 20$ длин волн с изменяющимся расстоянием между элементами.

На рис.3 приведена зависимость усредненной пропускной способности от числа антенн при различных линейных размерах приемной АР, рассчитанной по формуле (4). На рис. 3а изображены соответствующие характеристики при отсутствии влияния, на рис. 3б – при наличии влияния между приемными антеннами. Коэффициенты канальной матрицы являются случайными величинами, что соответствует модели естественной многолучевости. Для обеспечения постоянства энергетических характеристик ММО системы производится нормировка матрицы импедансов:

$$\underline{Z}_n = \frac{\underline{Z}}{\sqrt{\text{tr}(\underline{Z}\underline{Z}^H)}}.$$

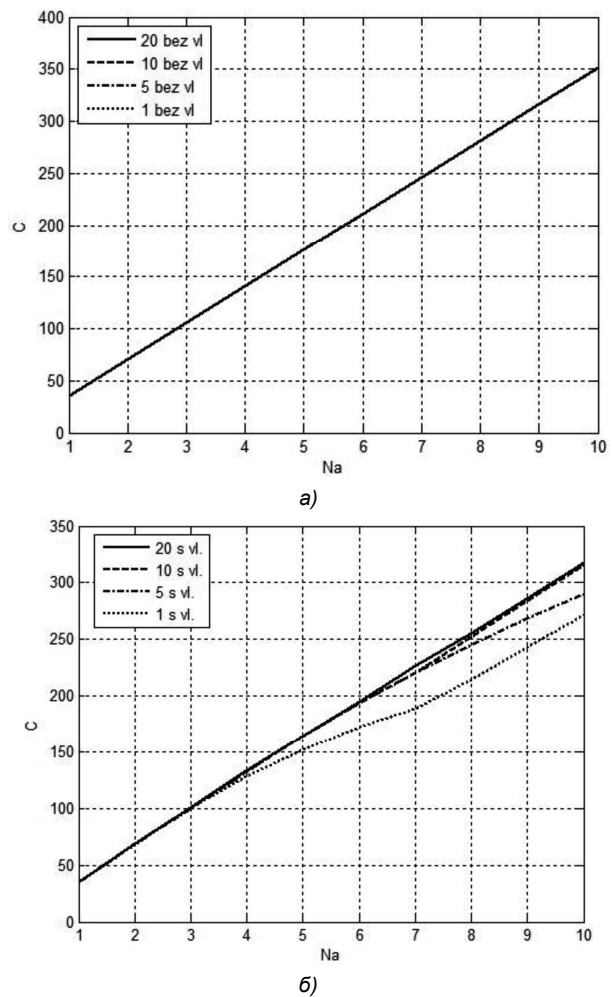


Рис.3. Усредненная пропускная способность в условиях естественной многолучевости: а) без учета влияния элементов АР; б) с учетом влияния элементов АР

Из полученных зависимостей видно, что при отсутствии взаимного влияния расстояние между элементами АР не влияет на пропускную способность ММО канала связи. При наличии взаимного влияния между антенн, расстояние между элементами АР влияет на пропускную способность. При увеличении числа антенн N_a и, соответ-

ственно, уменьшении расстояния между элементами возникает взаимосвязь между элементами антенной решетки, что приводит к уменьшению пропускной способности.

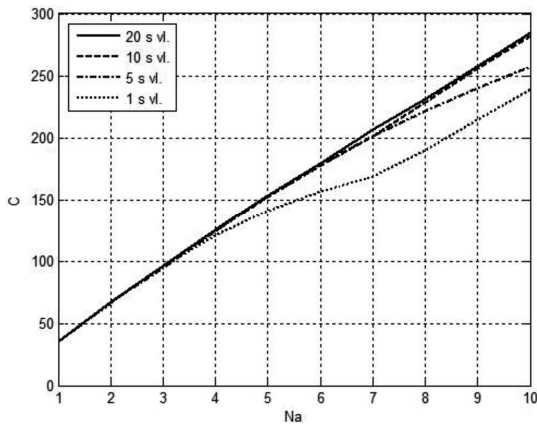


Рис.4. Усредненная пропускная способность с учетом влияния элементов приемной и передающей AP

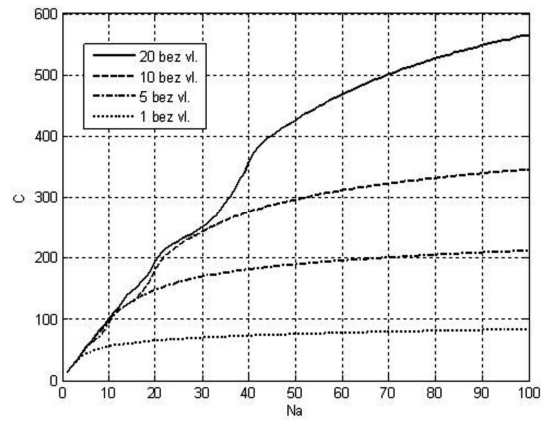
На рис. 4 приведены зависимости пропускной способности, рассчитанной по формуле (6), при учете взаимного влияния как на приемной, так на передающей стороне. Из графиков следует, что учет влияния между антеннами на обеих сторонах MIMO канала связи дополнительно уменьшает пропускную способность.

Влияние матрицы взаимных импедансов на пропускную способность при искусственной многолучевости

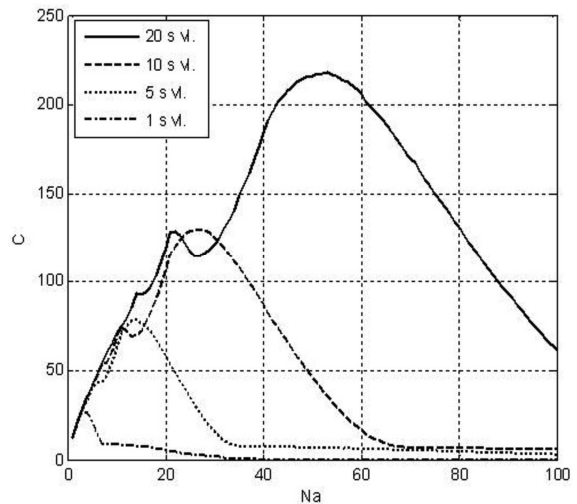
Рассмотрим MIMO систему связи, пространственная структура которой отображена на рис. 1б. Целью моделирования является определение влияния матрицы импедансов антенн приемной части на зависимость пропускной способности MIMO канала связи от числа антенн. Моделирование осуществляется при постоянных размерах области расположения антенн, передающие антенны случайным образом располагаются внутри заданной области, энергетический потенциал системы $q = 10^{11}$. Приемная антенна, представляет собой эквидистантную антенную решетку постоянного размера L , расположенную в середине области S , а передающие антенны распределены равномерно в области S .

На рис. 5а изображены графики зависимостей, полученных при отсутствии взаимного влияния элементов AP, а на рис. 5б – с учетом влияния элементов приемной AP. Размеры приемной AP выбраны равными $L = 1, 5, 10, 20$ длин волн. Чтобы матрица импедансов не изменяла энергетических характеристик MIMO системы, была осуществлена ее нормировка: $\underline{Z}_n = \frac{\underline{Z}}{\sqrt{\text{tr}(\underline{Z}\underline{Z}^H)}}$.

Из графиков рис. 5б видно, что при увеличении числа антенн в приемной AP фиксированной длины уменьшается расстояние между элементами, что приводит к увеличению взаимных импедансов и значительному уменьшению пропускной способности. Значительное снижение пропускной способности объясняется распределением излучаемой и принимаемой мощности между всеми, в том числе и неэффективными элементами AP.



а)



б)

Рис.5. Усредненная пропускная способность в условиях искусственной многолучевости: а) без учета влияния элементов AP; б) с учетом влияния элементов AP

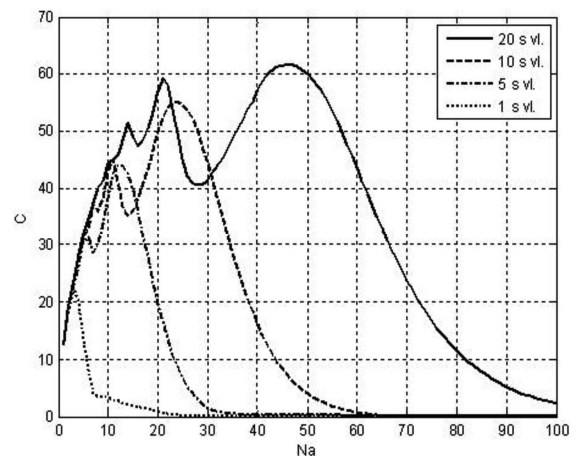


Рис.6. Усредненная пропускная способность с учетом влияния элементов приемной и передающей AP

В результате моделирования получены зависимости усредненной пропускной способности при учете взаимного влияния, как на приемной, так на передающей стороне. Как видно из графиков рис.6 учет взаимного влияния антенных элементов как приемной, так и передающей антенн приводит к более значительному уменьшению пропускной способности MIMO канала связи по сравнению со случаем взаимного влияния только в приемной AP.

Заключение

Пространственные структуры имеют определяющее значение для пропускной способности ММО канала при распространении волны прямым лучом. При этом пропускная способность приближается к значениям, получаемым для случайной матрицы канальных коэффициентов, имеющей максимальный ранг. Вместе с тем реализация потенциальных характеристик требует дополнительных условий, заключающихся в значительном пространственном разнесении антенн приемной и (или) передающей АР. Совместная передача и обработка сигналов сильно разнесенных антенн потребует дополнительных каналов передачи между ними, что делает невозможной мобильную связь при пространственной структуре рис.1а. Вместе с тем мобильная связь возможна при пространственной структуре рис.1б, которая дает выигрыш в пропускной способности в несколько раз по сравнению со случаем отсутствия разнесения на передачу.

Показано, что в случае слабо выраженной многолучевости повысить пропускную способность можно путем создания искусственной многолучевости. Использование пространственного кодирования методом собственных лучей, согласованного с характером искусственной многолучевости, позволяет получить предельные значения пропускной способности.

Установлено, что взаимное влияние элементов АР приводит к уменьшению пропускной способности. Вместе с тем, дальнейшее увеличение числа элементов АР в случае естественной многолучевости при заданном размере апертуры антенны позволяет нейтрализовать этот эффект и увеличить пропускную способность. В случае искусственной многолучевости такое улучшение достигается применением пространственного кодирования и оптимизации пространственной структуры.

Литература

1. Telatar I.E. Capacity of multi-antenna Gaussian channels. Eur. Trans. Telecom., 1999, 10, p. 585.
2. Shiu D.-S., Foschini G., Gans M., Kahn J. Fading correlation and its effect on the capacity of multi-element antenna systems. IEEE Trans. Commun., 2000, 48, p. 502.
3. Gershman A.B., Sidiropoulos N.D. Space-Time Processing for MIMO Communications – John Wiley & Sons, 2006.
4. Volker Kuhn. Wireless Communications over MIMO Channels: Applications to CDMA and Multiple Antenna Systems. – John Wiley & Sons, 2006.
5. Шлома А.М., Бакулин М.Г., Крейнделлин В.Б., Шумов А.П. Новые алгоритмы формирования и обработки сигналов в системах подвижной связи / Под ред. проф. А.М. Шломы. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008.
6. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Оптимальный прием дискретных сообщений системой обработки с оптимальной пространственной структурой // Радиотехника и электроника. - 2000. - Т. 45, №3. - С. 305-312.

7. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Влияние сигнально-помеховой ситуации на оптимальную пространственную структуру антенной системы // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. Вып. 4. - Рязань: РГРТА, 1998. - С. 117-120.

8. Паршин Ю.Н., Комиссаров А.В. Влияние пространственной структуры радиотракта на пропускную способность ММО телекоммуникационной системы // 19-я международная конференция «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии» – Севастополь, Украина: СНТУ, 2009. – С. 275-276.

9. Паршин Ю.Н., Комиссаров А.В. Оптимизация пространственной структуры и пространственное кодирование в системе связи с искусственной многолучевостью // IV Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь», 29 ноября – 3 декабря 2010 г., Москва. Доклады. 2010 - М: УРАН ИРЭ им. В.А. Котельникова, 2010. – С. 921-923.

10. Комиссаров А.В. Оптимизация пространственной структуры ММО системы связи, построенной на основе искусственной многолучевости // 16-я международная конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникация» - Рязань: РГРТУ, 2010 – С. 102-103.

11. Паршин Ю.Н. Пространственное кодирование в телекоммуникационной ММО системе с искусственной многолучевостью // 20-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010). Севастополь, 13-17 сентября 2010 г.: материалы конф. Т.1 – Севастополь: Вебер, 2010. – С. 425-426.

12. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов. – М.: Энергия, 1975.

MIMO COMMUNICATION SYSTEM CAPACITY IN THE PRESENCE OF VARIABLE SPATIAL STRUCTURE OF RADIO CHANNEL AND SIMULATED MULTIPATH PROPAGATION

Parshin Yu. N., Komissarov A. V.

The investigation capacity mobile communication system designed on MIMO principles in the presence of simulated multipath propagation is carry out. Spatial encoding is realized by beamforming method. Power distribution along transmit and receive antennas is specified by «water-filling». It is noticed, that spatial encoding marched with channel matrix is provided capacity benefit in the presence of simulated multipath propagation. MIMO system capacity in the presence of interference of transmit antennas elements and receive antennas elements evaluated.

Keywords – Capacity, MIMO, spatial structure, spatial encoding, multipath propagation, interference antennas elements.