

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМ РАДИОДОСТУПА С ТЕХНОЛОГИЕЙ МІМО

Марчук А.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. телекоммуникационных систем, тел. (057) 702-13-20,
E-mail: tkc@kture.kharkov.ua; факс (057) 702-55-92

Experimental researches of radio channel matrix influencing are conducted on the carrying capacity of the MIMO systems with the use of physical model of channel matrix. The graphs of carrying capacity dependences are collected from the size of coefficients of the direct and cross influencing. Comparing of the experiment results is conducted to theoretical researches.

В последнее время все большее распространение в системах радиодоступа получает технология МІМО. Эта технология позволяет не только повысить пропускную способность, но и надежность системы. Для исследования работы системы радиодоступа с технологией МІМО важно знать характеристики радиоканала, необходимые для расчета элементов матрицы передачи. Элементы матрицы могут быть вычислены с использованием математической модели радиоканала или измерены. Однако, в последнем случае необходимы не только оборудование с технологией МІМО, но и сложная дорогостоящая аппаратура измерения уровней сигналов, принимаемых каждой из антенн. Поэтому экспериментальное исследование пропускной способности систем связи на основе технологии МІМО с использованием простых физических моделей матрицы передачи канала является актуальной задачей.

Рассмотрим МІМО систему, представленную на рис. 1, где ТД – точка доступа, ТО – терминальное оборудование, ППД – преобразователь потока данных, а TP_i – трансивер i – го канала. Преобразователь потока данных на передающем конце линии связи преобразует последовательный поток данных в параллельный, а на приемном – выполняет обратное преобразование.

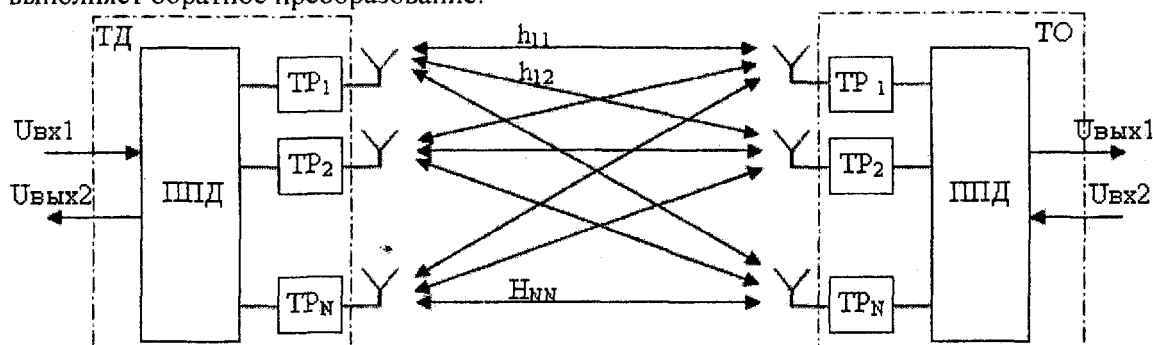


Рис. 1

Матрицу столбец U_T сигналов передающего устройства из N канальных передатчиков и матрицу столбец U_R приемного устройства из N канальных приемников можно записать в виде

$$U_T = \begin{bmatrix} U_{T1} \\ U_{T2} \\ \vdots \\ U_{TN} \end{bmatrix}, \quad U_R = \begin{bmatrix} U_{R1} \\ U_{R2} \\ \vdots \\ U_{RN} \end{bmatrix}.$$

Передаточная функция многолучевого канала описывается матрицей H :

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \dots & h_{NN} \end{bmatrix},$$

где h_{ij} – передаточная функция между i -й передающей и j -й приемной антенной.

Сигналы, принятые антеннами на приемном конце линии связи связаны с сигналами на передающем конце матричным соотношением

$$\mathbf{U}_R = \mathbf{H} \times \mathbf{U}_T.$$

Определить, какие сигналы были переданы можно с помощью устройства, установленного на приемной стороне системы связи и решающего систему из N линейных уравнений с N неизвестными. В матричной форме решение имеет вид

$$\mathbf{U}_T = \mathbf{H}^{-1} \times \mathbf{U}_R.$$

Для решения задачи необходимо знать матрицу передачи $\mathbf{H}$. Значения элементов матрицы $\mathbf{H}$ можно определить, например, посылая известный тестовый сигнал поочередно через каждую из передающих антенн при выключенных остальных и замеряя уровни сигнала на всех приемных антеннах в каждом случае.

Коэффициент затухания и время задержки сигнала для каждого из лучей при многолучевом распространении отражены в комплексных коэффициентах передачи h_{ij} матрицы $\mathbf{H}$. Значения элементов матрицы канала могут меняться в процессе работы системы. Они зависят от наличия в пространстве распространения радиоволн различных предметов, которые их отражают, рассеивают или ослабляют.

При натурных экспериментах необходимо знать текущее значение состояния канала. Это можно осуществить различными способами. Например, можно вычислить приближенные значения коэффициентов передачи, зная топологию и материалы стен, пола и потолка комнаты, в которой размещается оборудование, в том числе учитывая объекты, находящиеся между приемной и передающей антенной. Однако, модели таких ситуаций достаточно сложны, громоздки и не дают необходимой точности.

При экспериментальных исследованиях с реальными радиоканалами основные трудности в реализации изменения параметров радиоканала. Такие задачи решаются путем изменения числа, расположения и типа объектов в пространстве, а также законов изменения их положения во времени.

Для преодоления этих трудностей предлагается заменить реальный физический канал его эквивалентной схемой, состоящей из управляемых аттенюаторов и фазовращателей. Такой подход позволяет достаточно точно устанавливать значения коэффициентов передачи h_{ij} и изменять их в широких пределах, тогда как в реальном канале очень сложно изменять необходимым образом условия прохождения радиоволн. Другим положительным качеством физической модели является простота реализации. Для проведения экспериментального исследования системы ММО достаточно подключить такой перестраиваемый аппаратный эквивалент радиоканала к разъемам вместо антенн на передающем и приемном концах системы связи. При использовании предлагаемого эквивалента радиоканала исключаются влияния окружающего пространства и не нарушаются алгоритмы взаимодействия между аппаратурой на обоих концах линии связи.

Структурная схема экспериментальной установки с физической моделью матрицы радиоканала, заменяющей реальный канал MIMO 3x3 в предположении, что $h_{ij} = h_{ji}$ приведена на рис. 2.

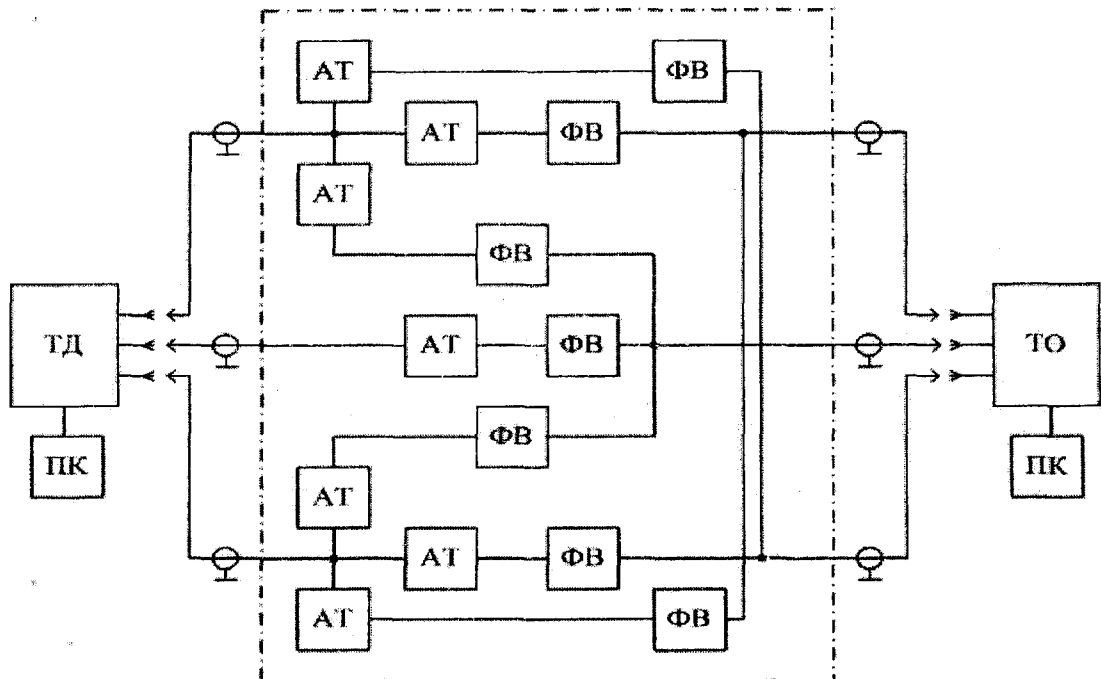


Рис. 2

Вместо антенн, к выходам передающих и приемных устройств подключаются коаксиальные кабели, которые соединяют эти устройства с эквивалентом радиоканала. Сигнал с каждого порта ТД поступает на все порты ТО через последовательно соединенные аттенюатор (АТ) – фазовращатель (ФВ), значения параметров которых являются различными для каждой пары портов ТД–ТО MIMO системы и могут изменяться в широких пределах. При этом можно выставлять любые значения h_{ij} и исследовать поведение системы радиодоступа при различных состояниях канала.

В простейшем случае (при пренебрежении перекрестными влияниями) для реализации физической модели матрицы передачи достаточно использовать аттенюаторы и фазовращатели только в каждом из прямых каналов.

В качестве фазовращателей можно использовать набор отрезков коаксиального кабеля различных длин, что существенно упрощает реализацию модели.

При экспериментальном исследовании влияния матрицы радиоканала на пропускную способность системы связи MIMO эквивалент матрицы радиоканала MIMO 3x3 был подключен к трем стандартным коаксиальным разъемам маршрутизатора D-Link DIR-655 и сетевого адаптера DWA-547, работающих по стандарту IEEE 802.11n.

Получены графики зависимостей пропускной способности от величины коэффициентов прямого h_{ii} и перекрестного $h_{ij} (i \neq j)$ влияний. Было проведено сравнение результатов эксперимента с теоретическими исследованиями [1]. Получено достаточно хорошее совпадение результатов.

Литература:

1. Марчук А.В. Влияние перекрестных помех на пропускную способность MIMO систем радиодоступа // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 151. С. 198-203.