

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ MIMO ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

ВЯЧЕСЛАВ ЛИПНИЦКИЙ, инженер

В статье излагаются основы технологии MIMO, рассматриваются антенны разных типов, которые ее поддерживают.

В беспроводных системах связи применяются разные меры обеспечения надежности связи, увеличения емкости сети и скорости передачи данных. Среди методов разнесеного приема, которые позволяют избежать затухания сигнала, выделяют пространственное, временное и частотное разнесение, использование направленной передачи, комбинирование поляризации разных типов.

Одной из главных сложностей в работе мобильных устройств является затухание сигнала. При движении нестабильность фазы и коэффициент ослабления принимают случайный характер из-за отражений от всевозможных препятствий (стены, дождь, горы, деревья и т.д.). Соответственно, необходимо часто обновлять информацию о состоянии канала (channel state information, CSI), чтобы своевременно скорректировать вносимые каналом искажения. В системах с открытой петлей (open-loop MIMO) оценка канала производится только на приемном конце. В системах с замкнутой петлей (closed-loop MIMO) информация о канале также поступает на передающую сторону по обратному каналу. Основываясь на принятой информации, передатчик перераспределяет мощности в передающих трактах так, чтобы увеличить мощность трактов в каналах с высокой степенью замираний, а также внести коррекцию по амплитуде и фазе при формировании диаграммы направленности антенны.

Как упоминалось, основными способами предотвращения ослабления сигнала являются частотное, временное и пространственное разнесения. Из таблицы видно, что основным параметром при выборе метода разнесения является полоса одновременно замирающих частот и время когерентности.

При использовании множественных антенн выполняется пространственное разнесение и на стороне приемника, и на стороне передатчика. Выигрыш от использования нескольких антенн увеличивается с ростом количества антенн. Однако необходимо найти компромисс между скоростью передачи и пространственным разнесением.

Применяется несколько типов передачи: массив антенн посылает разные данные по разным каналам (мультиплексирование) либо один и тот же сигнал по разным каналам, либо используется их комбинация (см. рис. 1).

Таблица. Основные методы предотвращения замираний в канале

Разнесение	Описание
частотное	разность несущих частот превышает полосу одновременно замирающих частот
временное	временные интервалы для передачи информации; их длительность значительно превышает период когерентности канала
пространственное	антенны на приемном и передающем концах расположены достаточно далеко друг от друга, чтобы расширить возможности вариации радиоканалов

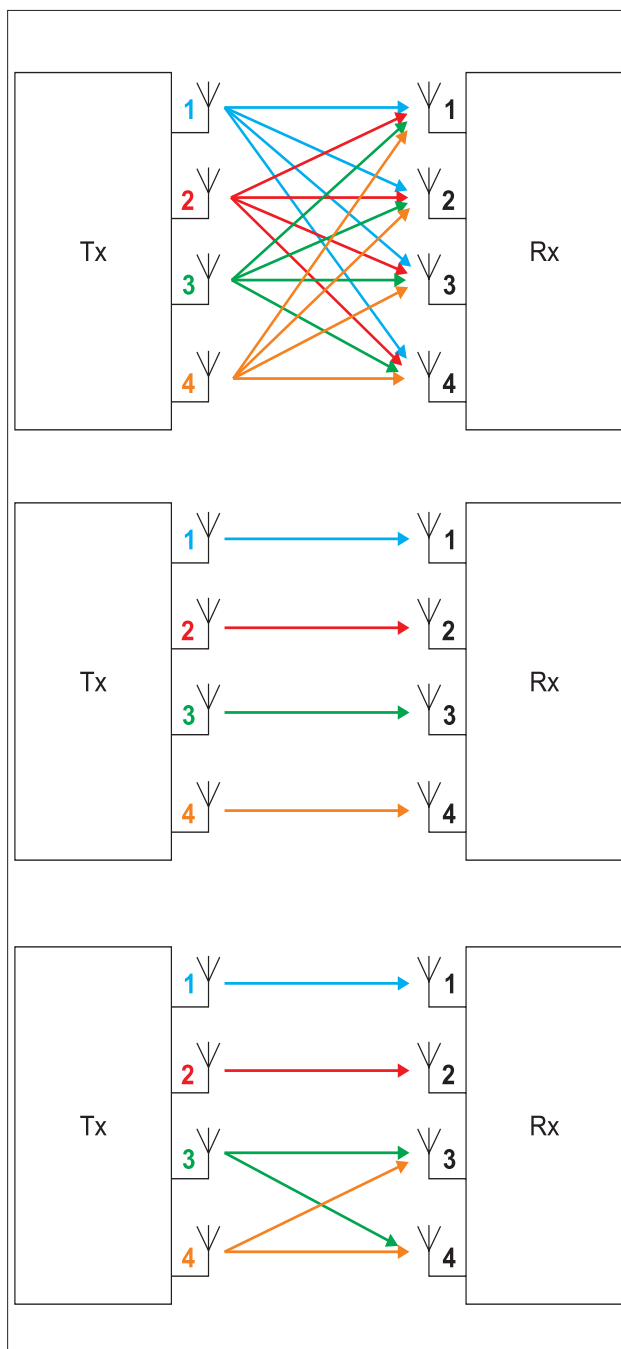


Рис. 1. Принцип передачи данных в системах с множественными антеннами (MIMO): а) пространственное разнесение; б) пространственное мультиплексирование; в) комбинированный способ

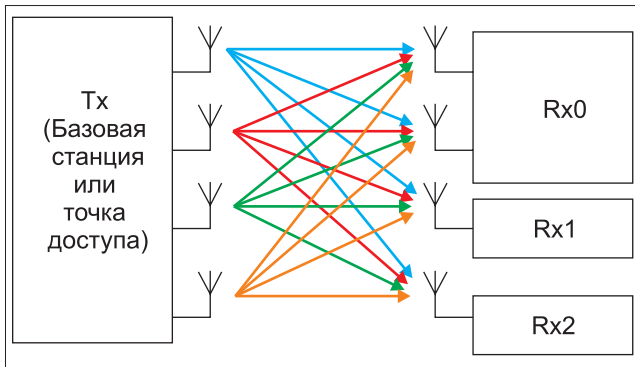


Рис. 2. Мультиплексирование может применяться не только для передачи на один пользовательский терминал с несколькими приемниками, но и для передачи нескольким пользователям (только в одном направлении)

Среди стандартных конфигураций MIMO следует отметить 2x2, 3x3, 4x4 (802.11n/ah) и 8x8 (802.11ax/ac).

### ПЕРЕДАЧА НЕСКОЛЬКИМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ

Концепцию пространственного мультиплексирования можно применить для массива приемников, оснащенных одной или несколькими антеннами (см. рис. 2). Это позво-

ляет увеличить эффективность системы, сохранив надежность связи. Стандарт Wi-Fi поддерживает технологию многопользовательской передачи MU-MIMO в версиях 802.11ac/ax (только в нисходящем направлении); она также включена в 4G LTE (релиз 8) и LTE-A (релиз 10). В отличие от систем с одним пользователем, системы MU-MIMO более подвержены интерференции внутри канала, часто требуют практически идеального состояния канала и низкого отношения сигнал/шум.

### ВИДЫ АНТЕНН

#### Поляризационное разнесение

Во многих случаях при наличии нескольких антенн используется пространственное и поляризационное разнесение. Поляризация описывает закон изменения направления электрического поля, излучаемого антенным элементом. При линейной поляризации вектор напряженности электрического поля направлен либо вертикально (90°), либо горизонтально (0°); при наклонной линейной поляризации отклоняется от горизонтали на -45 или 45°.

В некоторых системах с поляризационным разнесением используется круговая поляризация, при которой вектор напряженности электрического поля вращается в пространстве по часовой или против часовой стрелки.

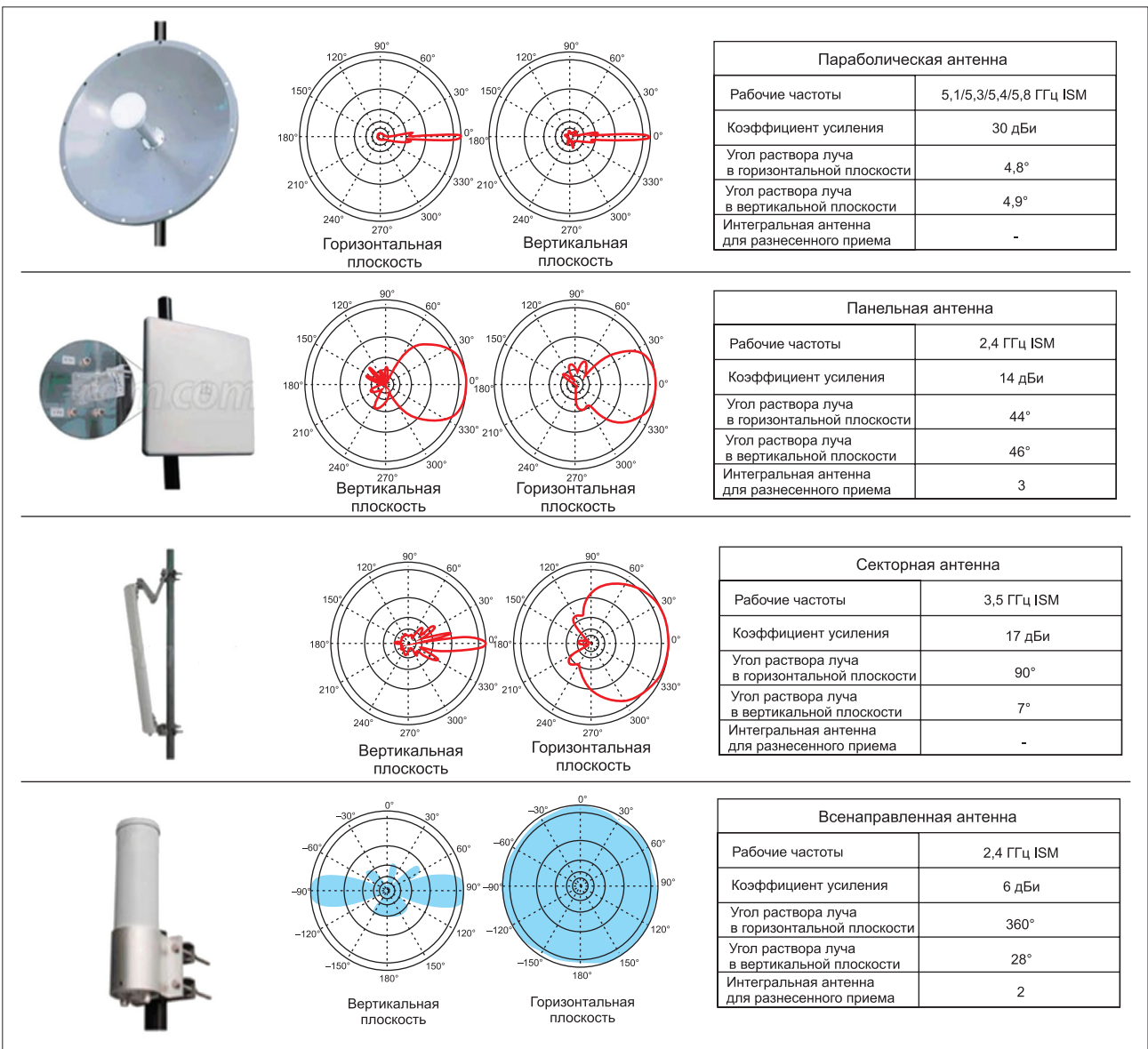


Рис. 3. Системы с двойной поляризацией и пространственным разнесением каналов

Антенны с линейной поляризацией чаще всего являются ненаправленными (монополю или диполь). Круговая поляризация применяется в спиральных и патч-антеннах. Необходимо обеспечить ортогональность антенн, чтобы на выбранной полосе частот они были изолированы.

И внутри помещения, и вне его можно создать два параллельных канала через поляризационное разнесение, чтобы упростить обмен данными. Особенно это полезно для транспортных сетей в системах связи, когда требуется найти компромисс между расстоянием связи и пропускной способностью, а также для решений, работающих в нелицензируемом диапазоне ISM при жестких ограничениях по эквивалентной изотропно излучаемой мощности.

Поскольку из-за малого размера устройств физически трудно разделить антенны, чтобы соответствующим образом обеспечить пространственное разнесение, целесообразным является решение проблемы с помощью поляризации. Экспериментальные исследования показывают, что использование двух типов поляризации в средах с типичным рассеиванием может увеличить емкость на 10–20% по сравнению с пространственно разнесенными антенными элементами. На рисунке 3 показано несколько антенн с двойной поляризацией и их типичные диаграммы излучения. В некоторых из них используется пространственное разнесение. Они предназначены для беспроводных локальных сетей, работающих и внутри помещения, и вне его.

Двойная поляризация выполняется на  $-45^\circ$  и  $45^\circ$  использованием линейного или планарного массива антенных элементов, включающих диполи, монополи, патч- и щелевые антенны. Поляризация часто контролируется с помощью SPDT-ключа, возбуждающего либо волну  $45^\circ$ , либо волну  $-45^\circ$ . Например, секторные панельные антенны могут содержать три панельных антенны с поляризацией  $\pm 45^\circ$ , в которых каждая из них поддерживает множественную передачу MIMO. Другим примером является полное ( $360^\circ$ ) покрытие с помощью четырех антенн с двойной поляризацией с отдельными фидерами для вертикальной и горизонтальной поляризации.

#### Отдельные и комбинированные антенны

В системах с множественными антеннами наиболее широко используются ненаправленные антенны с линейной поляризацией. Их выбор зависит от доступного места.

В пользовательском оборудовании с высокой степенью интеграции применяются чип- или печатные антенны, тогда как в точках доступа и маршрутизаторах используется гибкая выдвижная штыревая антенна, обеспечивающие больший коэффициент усиления (см. рис. 4).

Чем выше рабочая частота, тем ближе можно расположить антенны, сохранив пространственно разнесение. Для промышленных систем антенный массив помещают в обтекатель для защиты внутренней схемы от неблагоприятных погодных условий (ветер, влажность, солевой туман).

Для многополосных систем опасными являются пассивные и нелинейные интермодуляционные искажения, возникающие при смешении двух или более сигналов. При добавлении каналов и антенн схемы усложняются, а вопрос о сохранении низких порогов шума за счет минимизации пассивных интермодуляционных искажений в антенне и соединениях приобретает первостепенную важность, особенно для распределенных антенных систем и сотового оборудования.

#### Выводы

Применение множественных приемных и передающих антенн помогает избавиться от замираний сигнала и предотвратить многолучевость его прохождения. При выборе типа пространственного разнесения следует учитывать вероят-

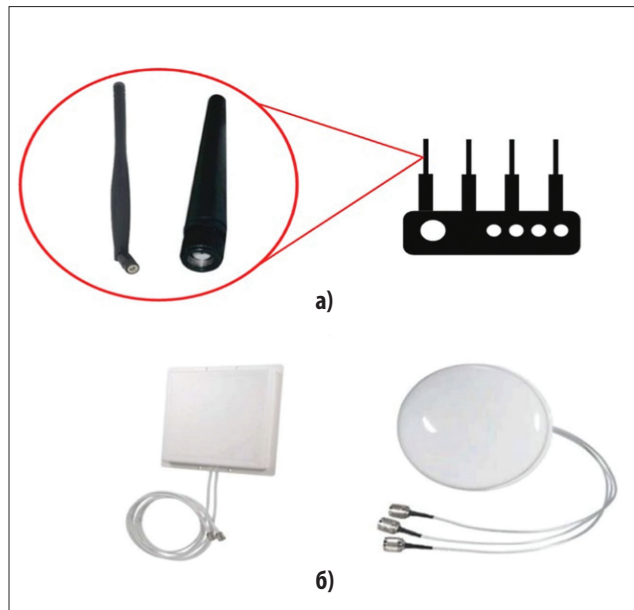


Рис. 4. Внешний вид: а) блока с отдельными антеннами; б) антенного массива, защищенного обтекателем

ность появления ошибочных битов, скорость передачи данных, а также отношение сигнал/шум в канале. В системе с высоким отношением сигнал/шум и малой вероятностью появления ошибочных битов можно распределить ресурсы по нескольким каналам, используя более высокий коэффициент усиления при приеме на разнесенные антенны. При высокой вероятности появления ошибочных битов рекомендуется пространственное разнесение для повышения скорости передачи данных.

В системах с несколькими антеннами дополнительные преимущества можно получить за счет применения нескольких вариантов поляризации. ◀