

MODERN DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES WITH SPATIAL MULTICHANNEL DISTRIBUTION OF SIGNALS

MIHAIL A. MIHAILOV

*Department of Communication Networks and Systems, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems / National Military University "Vasil Levski" - Shumen, Bulgaria,
m_a_mihaylov@abv.bg*

Abstract: *The historical development of mobile communications technologies is discussed. On this basis, the necessity of systems with spatial multichannel signal propagation is substantiated and the stages of their development are systematized.*

Keywords: *antenna, MIMO antenna, antenna array.*

СЪВРЕМЕНО РАЗВИТИЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ С ПРОСТРАНСТВЕНО МНОГОКАНАЛНО РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА СИГНАЛИТЕ

Михаил А. Михайлов

Катедра „Комуникационни мрежи и системи“, Факултет „Артилерия, противовъздушна отбрана и комуникационни и информационни системи“ / Национален военен университет „Васил Левски“ – Шумен, България, m_a_mihaylov@abv.bg

Резюме: *Обсъдено е историческото развитие на технологиите за мобилни комуникации. На тази основа се обосновава необходимостта от системи с пространствено многоканално разпространение на сигнала и се систематизират етапите на тяхното развитие.*

Ключови думи: *антена, антена MIMO, антенна решетка.*

Въведение

Разглежда се историческото развитие на технологиите за мобилни комуникации. На тази основа е обоснована необходимостта от системите с пространствено многоканално разпространение на сигналите и са систематизирани етапите на тяхното развитие.

Необходимост от технологията MIMO

Необходимостта от високоскоростни връзки, осигуряващи висококачествено обслужване (QoS) с висока надеждност, нараства всяка година. Това се улеснява значително от появата на такива услуги като VoIP (Протокол за глас през интернет), видеоконференции, VoD (Видео при поискване) и т.н. Въпреки това повечето безжични технологии не позволяват на клиентите да предоставят висококачествени услуги в края на района на покритие. В клетъчните и други безжични комуникационни системи качеството на връзката, както и наличната скорост на

предаване на данни бързо намаляват с разстоянието от базова станция (BTS). В същото време качеството на услугите също намалява, което в крайна сметка води до невъзможността да се предоставят услуги в реално време високо качество по радиото покритие на мрежата. За да се разреши този проблем, можете да се инсталират базовите станции възможно най-плътно и да се организира вътрешното покритие на всички места с ниско ниво на сигнала. Това обаче ще изисква значителни финансови разходи, които в дългосрочен план ще доведат до увеличаване на цената на услугата и до намаляване на конкурентоспособността. По този начин, за да се реши този проблем, се изисква нова оригинална технология, като се използва, ако е възможно, текущият честотен диапазон и не се изисква изграждането на нови мрежови обекти. За по-добро разбиране на този факт е целесъобразно да се изясни какво е мястото на тази иновация в историческото развитие на мобилните комуникации.

Преди разработчиците имаха задача да прехвърлят по-голям обем информация в единица време, т.е. увеличаване на скоростта. По аналогия с водопровода - да се достави на потребителя по-голям обем вода на единица време. Можем да постигнем това чрез увеличаване на „диаметъра на тръбата“ или по аналогия чрез разширяване на честотната лента на комуникацията. Първоначално стандартът GSM е затворен за гласов трафик и има ширина на канала 0,2 MHz. Това беше достатъчно. Освен това има проблем с осигуряването на достъп за няколко потребители. Той може да бъде решен чрез разделяне на абонатите по честота (FDMA) или по време (TDMA). В GSM и двата метода се използват едновременно. В резултат на това има баланс между максималния възможен брой абонати в мрежата и минималната възможна честотна лента за гласовия трафик. С развитието на мобилния интернет тази минимална честотна лента се превърна в пречка за скоростта. Две технологии, базирани на GSM платформа - GPRS и EDGE - достигнаха максимална скорост от 384 kbit / s. За да се увеличи още повече скоростта, е необходимо да се разшири обхватът за интернет трафик по едно и също време, като се използва GSM инфраструктурата, ако е възможно. В резултат на това беше разработен стандарт UMTS. Основната разлика е да се разшири лентата непосредствено до 5 MHz, и да се осигури достъп на множество потребители - технология за достъп CDMA с приложен код, с който множество потребители едновременно да работят в една и съща честотен канал. Тази технология е наречена W-CDMA, подчертавайки, че тя работи в широка лента. Тази система е наречена трето поколение система - 3G, но е надстройка над GSM. Така че има широка честотна лента 5 MHz, която първоначално позволява скоростта да се увеличи до 2 MBit / s. [1]

Как иначе можем да се увеличи скоростта, ако няма възможност да се увеличи още „диаметърът на тръбата“? Може да се паралелизира потока на няколко части, да се въведе всяка част в отделна малка „тръба“ и след това да се добавят тези отделни потоци от приемащата страна в един широк поток. В допълнение, скоростта зависи от вероятността от грешки в канала. Чрез намаляване на тази вероятност чрез прекомерно кодиране, проактивна корекция на грешки, използването на по-напреднали методи за модулиране на радиосигнала, може да се увеличи скоростта. Всички тези промени (с разширение на "тръбата" чрез увеличаване на броя на носители на канала) последователно се прилагат за по-нататъшно подобряване на стандарта UMTS и дават името HSPA. Това не е заместител на W-CDMA, но е мек + твърд ъпгрейд на тази основна платформа.

Характеристики на разпространението на радиовълните

За да се разберат всички причини за въвеждане на иновативна технология и принципа на нейното функциониране, е необходимо да се разгледат особеностите на разпространението на радиовълните в космоса. Вълните с честота над 100 MHz, излъчвани от различни безжични радиосистеми, до голяма степен имат общи закономерности на разпространението с оптичните вълни. Когато такава радиовълна срещне някаква повърхност, в зависимост от материала и размера на препятствията, една част от енергията се отразява, а останалата част се поглъща, като част от нея и преминава през тях. Съотношението на дяловете на отразената, погълната и

преминала енергия се влияе от много фактори, включително честотата на сигнала. Отражението на вълната променя посоката на по-нататъшното ѝ разпространение. То може да бъде огледално (в една посока) и дифузно (в много посоки) в зависимост от съотношението на размерите на неравностите и дължината на вълната. Огледално отражение се получава ако височината на неравностите удовлетворява критерия на Релей: [2, 5, 6]

$$h_n \leq \frac{\lambda}{16 \sin \theta}, \quad (1)$$

където h_n е височината на неравностите, λ - дължината на вълната, а θ – ъгълът на плъзгане. При изпълнение на условието на неравенството фазовата разлика между отразената и падаща вълна не надвишава 45° и повърхността може да се счита за равна и гладка. При по-високи неравности от допустимите повърхността се приема за неравна, а отражението от нея – за дифузно. Вълната се разсейва в различни посоки и така се разпространява многопътно. [3, 4]

Сигналът, разпространяващ се чрез описаните закони от източника до приемника, след среща с множество препятствия се разпада на множество вълни, само част от които достигат до приемника. Всяка от вълните на сигнала, достигащи до приемника, преминава по различен път на разпространение. Поради факта, че вълните се отразяват от различен брой препятствия и изминават различни разстояния по различните пътища, те имат различни времезакъснения и се сумират с различни фазови разлики, което намалява сумарната мощност.

В условия на гъста градска конструкция поради многобройни препятствия, като сгради, дървета, автомобили и др., много често съществува ситуация, при която между потребителското оборудване (MS) и антените на базовите станции (BTS) няма директна видимост. В този случай единственият начин да достигне сигналът до приемника са отразените вълни. Поради вече описаните процеси многократно отразеният сигнал вече няма първоначалната енергия и може да дойде със закъснение. Особена сложност създава и фактът, че обектите не винаги остават неподвижни и че околната среда може да се промени значително с течение на времето. Затова многопътното разпространение на сигнала е един от най-значимите проблеми в безжичните комуникационни системи. [5]

Развитие на технологиите с пространствено многоканално разпространение на сигналите

За борба с отрицателното въздействие на многопътното разпространение на сигнала се използват различни решения. Една от най-разпространените технологии е „Получаване на многообразие чрез разнообразно пространствено предаване и приемане на сигналите”. Нейната същност се крие във факта, че не една, а няколко антени (обикновено две, рядко четири), разположени на разстояние една от друга, се използват за получаване на сигнал. По този начин приемникът разполага не с едно, а с повече копия на предавания сигнал, който идва по различни пътища. Това дава възможност да се събере повече енергия от оригиналния сигнал, защото вълните, получени от една антена, може да не бъдат приемани от другата антена и обратно. Например, сигналите, идващи в противофаза към една антена, могат да дойдат в другата във фаза. Тази схема на организиране на радио интерфейс може да се нарече „Един вход с много изходи” (ЕВМИ) /Single Input Multiple Output (SIMO)/, за разлика от стандартната схема с един вход и един изход (ЕВЕИ) /Single Input Multiple Output (SISO)/. Възможно е да се приложи и обратен подход: когато се използват няколко антени за предаване и една за приемане. Поради това и общата енергия на първоначалния сигнал, получена от приемника, също се увеличава. Тази схема се нарича „Много входове с един изход” (МВЕИ) /Multiple Input Single Output (MISO)/. В двете схеми (ЕВМИ и МВЕИ) няколко антени са инсталирани отстрани на базовата станция. Реализирането на многообразие от антени в мобилно устройство за достатъчно голямо разстояние е трудно без да се увеличават размерите на самото крайно оборудване.

В резултат на по-нататъшни разсъждения се стига до схемата „Много входи с много изходи“ (МВМИ) /Multiple Input Multiple Output (MIMO)/. В този случай няколко антени са настроени за предаване и приемане. За разлика от горните схеми, обаче, тази схема на разнообразие позволява не само да се справи с многопътното разпространение на сигнали, но и да се получат някои допълнителни предимства. Чрез използването на няколко антени в предаването и приемането на всяка двойка антени за предаване / приемане, може да се свърже отделен път за предаване на информацията. В този случай приемането на разнообразие ще се извършва от останалите антени и тази антена ще действа и като допълнителна антена за други предавателни пътища. В резултат теоретично е възможно да се увеличи скоростта на предаване на данни толкова пъти, колкото ще се използват допълнителните антени. Обаче значително ограничение се налага от качеството на всеки радиочестотен път.

MIMO за много потребители (MU-MIMO)

Горният принцип за организация на радиокомуникациите се отнася до т.нар. Единичен потребител MIMO (SU-MIMO), където има само една информация за предавателя и приемника. В този случай както предавателят, така и приемникът могат ясно да координират действията си и в същото време няма изненадващ фактор, когато новите потребители могат да се появяват във въздуха. Такава схема е подходяща за малки системи, например за организиране на комуникация в домашния офис между две устройства.

Компанията Qualcomm Atheros е разработила система за много потребители с множество входи и изходи (**MU-MIMO** протокол), която им позволява в мрежата да общуват с повече от един компютър в даден момент. Компанията демонстрира технологията и вече извършва доставки на клиенти.

За да се получи обаче висока скорост на обмен, потребителите трябва да актуализират както своите компютри, така и мрежовите маршрутизатори.

Според протокола Wi-Fi, клиентите се обслужват последователно - за определен интервал от време е разрешено само едно приемо-предавателно устройство да получава информация, така че се използва само една малка част от капацитета на мрежата.

Натрупването на тези последователни събития създава спад на обмена, тъй като устройствата са по-голям брой и всички са свързани към мрежата.

Протоколът от MU-MIMO (много потребители, много изходи и входи) позволява едновременно разпространение на информация на група от клиенти, което прави по-ефективно използването на наличния капацитет на Wi-Fi мрежата, като по този начин се ускорява предаването.

Qualcomm смята, че такива възможности ще бъдат особено полезни за конферентните центрове и интернет клубовете, когато няколко потребители се свързват към същата мрежа.

Компанията също така вярва, че това е не само повишаване на абсолютната скорост, но също така и по-ефективно използване на мрежата и ефирно време в подкрепа на увеличаването на броя на свързаните устройства, услуги и приложения.

Чиповете MU-MIMO на Qualcomm са предназначени за продажба на производители на маршрутизатори, точки за достъп, смартфони, таблети и други устройства с поддръжка на Wi-Fi. Първите чипове могат да работят едновременно с четири потока данни; технологията е бързо включена в чиповете Atheros 802.11ac и мобилните процесори Snapdragon 805 и 801. Извършена е демонстрация на технологиите, а първите пратки чипове са от 2019 година. [1]

На свой ред, повечето системи, като Wi-Fi, WiMAX, клетъчните комуникационни системи са мулти-потребители, т.е. в тях има един център и няколко отдалечени обекти, като с всеки от тях е необходимо да се организира радиовръзка. Следователно, единият от проблемите е базовата станция. Тя трябва да изпрати сигнал на много клиенти чрез една и съща антенна система (MIMO предаване) и в същото време да получава сигнала през една и съща антена от различни сайтове (MIMO MAC - канали с множество достъпи).

В посока на връзката нагоре - от MS към BTS, потребителите предават информацията си едновременно с еднаква честота. В този случай за базовата станция има затруднение: необходимо е да се разделят сигналите от различни абонати. Един от възможните начини за борба с този проблем е и методът на линейна обработка, който включва и сигнална карта - предварителен набор от знаци за предавания сигнал. Източникът на сигнала, в съответствие с този метод, се умножава с матрицата, която се състои от коефициентите, отразяващи намесата от други абонати. Матрицата се компилира на базата на текущата радиосреда: брой абонати, скорости на предаване и т.н. По този начин, преди предаването, сигналът претърпява изкривяване на обратната страна на това, което среща по време на предаването във въздуха.

В посока на връзката надолу, от BTS към MS, базовата станция предава сигналите едновременно на същия канал на няколко абоната едновременно. Това води до факта, че предаденият сигнал за един абонат влияе върху приемането на всички други сигнали, т.е. възникват смущения. Метод за борба срещу този проблем е използването на смарт антена или на технологията за кодиране „мръсна хартия“. Принципът на работа на технологията „мръсна хартия“ се основава на анализа на текущото състояние на радиоефира и броя на активните абонати. Единствено първият абонат предава данните си на базовата станция без да ги променя с кодиране, защото няма намеса от други абонати. Вторият абонат кодира, т.е. променя енергията на сигнала си така, че да не се намесва с първия и да не излага сигнала си на въздействие от първия. Следващите абонати, добавени към системата, също ще следват този принцип и ще отчитат броя на активните абонати и ефекта, предизвикан от предаваните от тях сигнали.

Днес в ерата на цифровата революция, докато се оценява дали тази нова технология е по-ефективна или е комерсиална и докато тя се утвърди, се развиват още повече нови технологии, които се предлагат в замяна на текущата само за две години. Това важи и за технологията на MIMO антените.

References

1. Droidd, Ju jeni kētu (2018). Çfarë është MIMO antena, dridd.ru Portal rreth Android.
2. Mihaylov, M. A., & Vladimirov, R. M. (2003). *Visibility zone improvement of decimetre band radar using scanning of diagram directing*, Journal of Applied Elektromagnetism, vol. 5, № 1, January 2003, ISSN 1109-1606, BSUAE, Institute of Communication and Computer Systems, Athena, Greece.
3. Михайлов, М. А. (2016). *Възбуждане на електромагнитни вълни в сферични повърхности*, Сборник на диск с научни трудове от Международна научна конференция „Хемус 2016“, Пловдив.
4. Михайлов, М. А. (2016). *Вълнови явления в тела с цилиндрична форма под действието на електрични източници*, Сборник на диск с научни трудове от Международна научна конференция „Хемус 2016“, Пловдив.
5. Михайлов, М. А. (2008). *Модел на разпространение на радиовълните в сгради*, Сборник научни трудове от Научна сесия на НВУ, Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“, Шумен.
6. Дамянов, Д. Д. (1975). *Разпространение на радиовълните, BTS*.