به نام خدا

دانشگاه زنجان

دانشکده‌ی فنی مهندسی

گروه مهندسی برق- گرایش مخابرات

شبیه سازی و آنالیز سیستم های آنتن MIMO به روش امواج بردار کروی (SVW)

استاد راهنما:

دکتر حبیب الله زلفخانی

گردآورندگان:

نسترن نوری وطن- سارا عزتی آزاد

شهریور ۹۱

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... آ

فهرست تصاویر و نمودارها ..... ت

چکیده ..... ث

فصل ۱: معرفی ۱

۱.۱ گونه‌های چند کاربره ۳

۱.۲ تاریخچه‌ی MIMO ۷

۱.۳ مزایای سیستم MIMO ۸

۱.۴ عملکرد سیستم MIMO ۱۰

۱.۴.۱ مالتی پلکسینگ فاصله‌ای ۱۰

۱.۴.۲ پیش کدینگ ۱۱

۱.۴.۳ کدینگ گونه گون ۱۲

۱.۵ امکانات آنتن MIMO ۱۳

۱.۶ مزایای استفاده از SVW ۱۷

فصل ۲: عملکرد پارامترها و مدل سیستم MIMO ۱۹

۲.۱ مدل سیستم MIMO ۲۰

۲.۲ ظرفیت و ضریب همبستگی سیستم ۲۲

۲.۳ مدل کانال فیزیکی MIMO ۲۷

فصل۳: روش تحلیلی امواج بردار کروی ۳۰

۳.۱ بردار توابع موج در مختصات منحنی ۳۲

۳.۲ بردار تابع گرین(Green) ۳۵

۳.۳ SVW ها برای تشعشع‌های آنتن MIMO ۳۷

۳.۳.۱ درجات آزادی ۳۸

۳.۳.۲ کوپلینگ متقابل ۴۰

۳.۴ طراحی آنتن MIMO کروی ۴۳

۳.۵ طراحی آنتن MIMO مسطح ۵۴

فصل۴: روش سیستماتیک بردار امواج کروی ۵۸

۴.۱ قاعده‌ی بردار موج کروی ۵۹

۴.۲ تحلیل کانال MIMO ۶۸

۴.۳ القای جریان‌های بهینه‌ی آنتن‌های MIMO ۷۳

۴.۳.۱ سیستم آنتن MIMO با ۴ عنصر ۷۳

نتیجه گیری ۸۲

ضمیمه ۸۴

منابع و مآخذ ۹۲

فهرست تصاویر و نمودارها

۱.۱ سیستم MIMO در محیط انتشار چندمسیره ۲

۱.۲ مدل سیستم SISO ۴

۱.۳ مدل سیستم SIMO ۴

۱.۴ مدل سیستم MISO ۵

۱.۵ مدل سیستم MIMO ۶

۱.۶ شکل کلی از چند آنتنه ۷

۲.۱ مدل کانال رادیو MIMOای بهم پیوسته ۲۰

۲.۲ مدل کانال کلاستر برای سیستم آنتن MIMO ۲۸

۳.۱ تقابل الکترومغناطیسی بین دو مسئله(حالت) ۴۱

۳.۲ تابع چگالی تجمعی ضرایب همبستگی در کانال لاپلاسی ۵۶

۴.۱ جدول ضرب داخلی توابع SVW ۷۰

۴.۲ جدول ضرب داخلی توابع SVW ۷۱

۴.۱ تابع چگالی تجمعی ضرایب همبستگی بین SVWهای مختلف برای PAS لاپلاسی ۷۲

۴.۲ سیستم MIMO شامل ۴ آنتن دوقطبی نیم موج ۷۴

۴.۳ طیف توان زاویه‌ای لاپلاسی ۷۵

۴.۴ ضرایب همبستگی برای دو دوقطبی در سیستم MIMO ۴ المانه ۷۶
۴.۳ جدول مقادیر دقیق القای جریان ها برای ۴ مد سیستم MIMO ۷۷
۴.۴ جدول مقادیر گرد شده‌ی القای جریان ها برای ۴ مد سیستم MIMO ۷۸
۴.۵ ۴ مد سیستم MIMO بهینه برای سیستم MIMO ۴ المانه ۷۹
۴.۶ ضرایب SVW نرمالیزه شده بدست آمده برای ۴ مد سیستم MIMO بهینه ۸۰

چکیده

سیستم‌های چند ورودی چند خروجی یک راه حل محوری برای افزایش ظرفیت ارسال کانال‌های بی‌سیم با باند محدود می‌باشد. در حقیقت سیستم MIMO یک سیستم وایرلس می‌باشد که در هر دو سمت ارسال و دریافت چند آنتن دارد. در خصوص مزیت‌های سیستم وایرلس MIMO باید گفت که ازمهمترین آنها ظرفیت بالا، نرخ بیت بیشتر، ارتباط مطمئن بیشتر و منطقه تحت پوشش وسیع‌تر است. تمام این خصوصیات، شرط لازم کارایی قطعی آن در مخابره‌ی وایرلس می-باشد. علاوه بر این، امکانات جدید مهندسی در کاربردهای وایرلس انگیزه‌ی بزرگی را به وجود آورده است که از سیستم های MIMO استفاده کنیم تا به درخواست کاربردهای نو عمل کنیم. سیستم‌های MIMO می‌توانند با دیگر تکنیک‌های هوشمند ترکیب شوند و با استفاده از یک بازده طیفی بالاتر به این مزایا دست یابند.

کارایی سیستم MIMO به ضریب همبستگی عبوری بین سیگنال ارسال و دریافت که به وسیله‌ی المان‌های مختلف آنتن ایجاد می‌شود وابسته است. بنابراین مشخصه‌های الکترومغناطیسی المان‌های آنتن و محیط وایرلس به طور قابل توجهی روی کارایی سیستم MIMO تأثیر می‌گذارند. از این‌رو مهم است که مشخصه‌های الکترومغناطیسی المان‌های آنتن و محیط فیزیکی در طراحی سیستم MIMO و بهینه‌سازی آن درنظرگرفته شود.

در این مقاله، مدل سیستم MIMO و کارایی آن معرفی می‌شود و با در نظر گرفتن جنبه‌های الکترومغناطیسی به بررسی عناوین زیر می‌پردازیم:

۱)آنالیز عددی و بهینه‌سازی ساختار آنتن MIMO: یک متود بهینه و کارآمدی در نظر گرفته می‌شود که متقابل با روش آنالیز گشتاور می‌باشد تا همبستگی میان سیگنال‌های ارسالی و دریافتی در سیستم MIMO را کاهش دهد. دراین روش تاثیر بسته‌های رادیویی روی کارایی سیستم MIMO در نظر گرفته می‌شود. این روش در تعداد کمی از نمونه‌های کاربردی استفاده

شده است تا جایگاه بهینه و جهت‌یابی المان‌های آنتن در محوطه‌ی سیستم پیدا شود که ضرایب همبستگی کم شود تا بتوانیم به سمت یک عملکرد مطلوبی برای MIMO حرکت کنیم.

۲)مدل تئوری-الکترومغناطیسی تجزیه‌ای برای طراحی آنتن MIMO :

اولین قدم، یافتن مودهای تشعشعی عمودی به منظور دستیابی سیگنال‌های ناهمبسته می‌باشد. برای اینکه امواج بردار کروی، مجموعه‌ای کامل از توابع برداری قائم را برای میدان‌های الکترومغناطیسی تشعشع یافته شکل دهند، یک روش تجزیه‌ای بر روی SVW پایه‌گذاری شده است. از این روش به منظور تحریک مودهای متعامد استفاده می‌شود. از روش SVW تجزیه‌ای به منظور طراحی آنتن‌های کروی استفاده می‌شود و حالت عمودی مودهای تشعشع یافته در ساختار آنتن‌های مسطح بررسی شود.

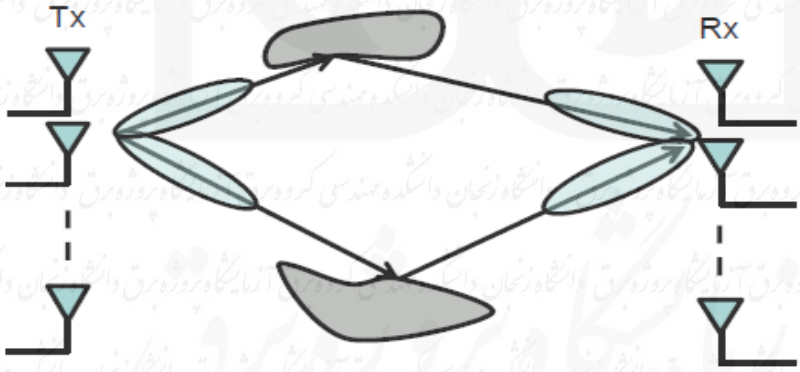
۳) قاعده‌ی SVW سیستماتیک برای طراحی آنتن MIMO:

مبنی بر امواج بردار کروی، یک روش سیستماتیک تعمیم یافته‌ای برای آنالیز و طراحی آنتن‌های MIMO در نظر گرفته می‌شود. این قاعده نه تنها یک روش سیستماتیک برای طراحی آنتن MIMO ارائه می‌دهد، بلکه محدودیت‌های اساسی و درجات آزادی برای طراحی مطلوب المان-های آنتن MIMO را تعیین می‌کند. روش مفروض یک رهنمود کلی را برای بدست آوردن منابع جریان کاربردی فراهم می‌کند تا مودهای MIMOی متعامد در هر شرایط فیزیکی دلخواهی بدست بیایند.

فصل اول:

معرفی سیستم‌های چند ورودی چند خروجی

درارتباطات وایرلس، سیگنال‌های ارسالی به دلیل وجود پراکنده سازهای[1] محیطی از طریق چندین راه انتشار، دریافت می‌شوند. گسترش چند مسیره ممکن است یک ترکیب مخرب یا سازنده‌ای را برای سیگنال‌های رادیویی (با افت و خیز سیگنال) نتیجه دهد. برآیند نوسان ساز[2] چند مسیره می‌تواند سطح سیگنال دریافت شده را به سطحی کمتر از آستانه‌ی مورد نیاز[3] کاهش دهد و بدین طریق می‌تواند به طور قابل توجهی روی بخش خروجی و قابل اطمینان سیستم تاثیر بگذارد. فنون مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا با تاثیرات فیدینگ چندمسیره مقابله کند. عوامل مختلفی از قبیل شرایط محیطی، زاویه، پلاریزاسیون به کارگرفته می‌شود تا سیگنال‌های رادیویی مستقلی را که همان اطلاعات را در بر دارد، ارسال و دریافت کند. سیگنال‌های مستقل بدست آمده توسط تاثیرات کانال وایرلس مستقل، احتمال فیدینگ همزمان برای سیگنال‌های مستقل را کاهش می‌دهد و قابلیت اطمینان سیستم بهتر خواهد شد.



شکل۱.۱)سیستم MIMO در محیط انتشار چند مسیره

[1] -scatter
[2] - fading
[3] - threshold

ظرفیت سیستم در واقع اطلاعات دو جانبه‌ی ماکزیممی که از میان کانال‌های وایرلس انتقال داده شده است، تعریف می‌شود. از میان تکنیک‌های متنوعی که ظرفیت سیستم را افزایش می‌دهند، سیستم-های MIMO در صنعت به عنوان یک راه حل مناسب برای افزایش کارآمد ظرفیت سیستم‌های مخابره-ی وایرلس با باند محدود، توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

۱-۱)گونه‌های چند کاربره:

به تازگی، پژوهش‌ها پیرامون فناوری MIMOی چند کاربره، در حال ظهور بوده است. در حالیکه MIMOی تمام کاربره[۴] ، (یا MIMOی شبکه)، می تواند پتانسیل بیشتری داشته باشد، اما پژوهش‌ها بر روی فناوری MIMOی نیمه کاربره[۵] (یا MIMOی چند کاربره و چند آنتنه)، به سبب کاربرد آن، بیشتر بوده است.

SISO:

درانتقال اطلاعات در سیستم‌های وایرلس و از طریق امواج رادیویی، بطور سنتی از یک آنتن در گیرنده و از یک آنتن در فرستنده استفاده می‌شود. این سیستم به نام چند ورودی چند خروجی[۶] یا SISO شهرت دارد. در این مدل فرستنده و گیرنده (هردو) از یک زنجیره RF (کدکننده ودیکد کننده) استفاده

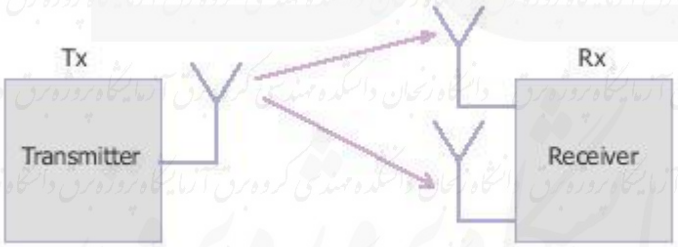
[4] - full multi-user MIMO
[5] - partial multi-user MIMO
[6] - Single Input -Single Output

می‌نماید. پیاده‌سازی SISO ارزان و ساده بوده و تقریبا از زمان پیدایش تکنولوژی رادیو مورد استفاده قرارگرفته است. از موارد کاربرد آن می‌توان در رادیو و تلویزیون وهمچنین تکنولوژی بیسیم شخصی (WI-FI , Bluetooth) استفاده کرد.

شکل۲-۱: سیستم SISO

SIMO:

جهت افزایش کارایی انتقال اطلاعات، تکنیک چند آنتن در گیرنده بوجود آمد. سیستمی که جهت ارسال (انتقال) اطلاعات از یک آنتن و جهت دریافت اطلاعات از چندین آنتن استفاده می‌نماید بهSIMO یا تک ورودی چند خروجی[۷] شهرت یافت.

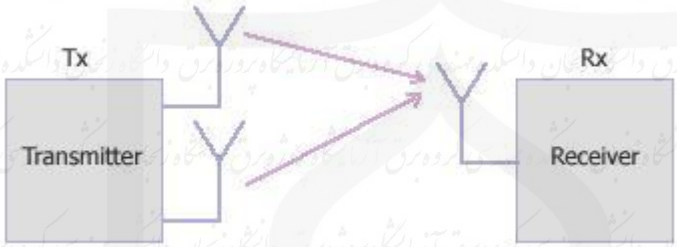


شکل۳-۱)سیستم SIMO

[7] - Single Input, Multiple Output

MISO:

سیستمی که از چند آنتن در فرستنده و یک آنتن در گیرنده استفاده می‌کند به نام MISO یا [8] چند ورودی تک خروجی شناخته می‌شود. این تکنیک به نام [9] STC معروف است. انتقال اطلاعات در این سیستم از طریق دو آنتن فرستنده و فاصله‌ی زمانی مشخص انجام می‌شود. به بیان دیگر اطلاعات توسط دو آنتن در دو زمان متفاوت بطور مستمر ارسال می‌شود.



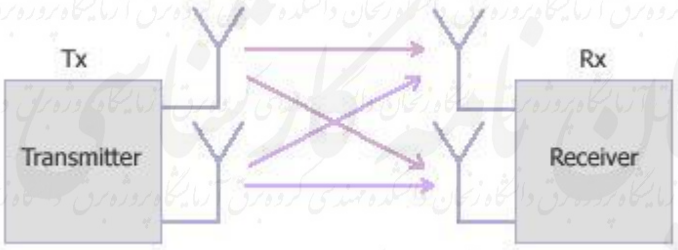
شکل۴-۱)سیستم MISO

MIMO:

جهت افزایش توان عملیاتی یک لینک رادیویی، چندین آنتن در هر دو قسمت فرستنده و گیرنده قرار داده می‌شود. این سیستم را MIMO یا چند ورودی چند خروجی [10] می‌نامند. در این تکنیک تعداد آنتن‌های دوطرف (فرستنده و گیرنده) یکسان می‌باشد و امکان چند برابرکردن [11] فراهم می‌شود.آنتن‌ها

[8] -Multiple Input Single Output
[9] -Space Time Coding
[10] - Multiple Input Multiple Output
[11] -Throughput

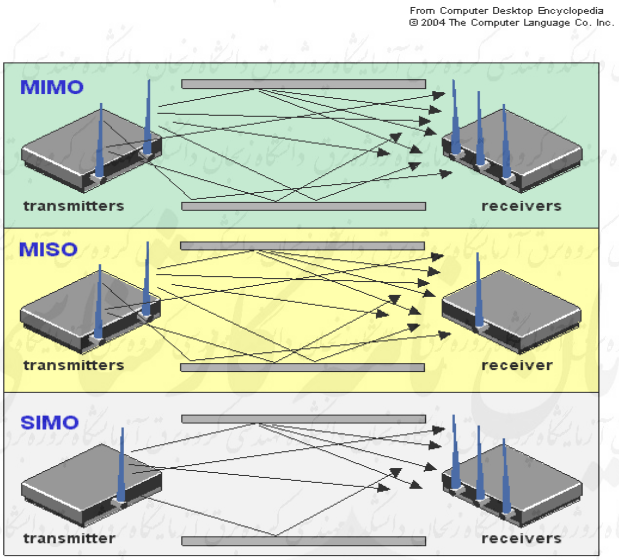
در هر یک از نقاط انتهایی یک ارتباط، جهت کاهش خطا و بهینه نمودن سرعت انتقال داده بکار می‌روند. MIMO یکی از چندین روش آنتن‌های هوشمند است.



شکل ۵-۱)سیستم MIMO

در سیستم‌های وایرلس معمولی یک آنتن در مبدا و آنتن دیگر در مقصد قرار دارد. در این گونه سیستم‌ها نویز محیط درکیفیت ارتباط تاثیر گذاشته و مشکلات ارتباطی را افزایش خواهد داد. بطور مثال وقتی امواج الکتریکی با موانعی نظیر تپه‌ها، دره‌ها، ساختمان‌ها و کابل‌های فشار قوی برق برخورد می‌کنند پراکنده شده و در مسیرهای مختلف به سمت هدف حرکت می‌کنند و بخش‌هایی از سیگنال که با تاخیر به گیرنده می‌رسند سبب ایجاد مشکل خواهند شد. محو شدن [۱۲] سیگنال، انکسار سیگنال و بوجود آمدن فاصله بین سیگنال‌ها از جمله مشکلات بوجود آمده هستند.

[12] -fading



شکل۶-۱)شکل کلی چند آنتنه ها

۲-۱)تاریخچه‌ی MIMO:

در سال ۱۹۹۳ ArogyaswamiPaulraj و ThomasKailath مفهوم مالتی پلکس فاصله‌ای[۱۳] (به اختصار اس ام SM) را با بهره‌گیری از MIMO پیشنهاد دادند. شماره ثبت اختراع آنها، ۵،۳۴۵،۵۹۹ با موضوع مالتی پلکس فضایی، در سال ۱۹۹۴ صادر شده‌است و بر پخش بی سیم تکیه دارد. در سال ۱۹۹۶، Greg Raleigh و Gerard Foschini با ارائه‌ی شیوه‌های نوین و کارآمد خود، پیکره‌ای را پیشنهاد کردند که شامل مجموعه‌ای از چند آنتن در فرستنده بود تا توسط آن گذردهی داده‌ها به طور کارآمدی، افزایش یابد. مجموعه‌ی آزمایشگاهی بل در سال ۱۹۹۸، نخستین جایی بود که نمونه‌ی آزمایشگاهی مالتی پلکس فضایی را به نمایش گذارد و نشان داد که مالتی پلکس فضایی، یک فناوری بنیادی، برای بهبود کارکرد سیستم‌های مخابراتی MIMO است.

[13] -spatialmultiplexing

نتیجه گیری:

آنتن‌های هوشمند:

با افزایش روز افزون درخواست برای سرویس‌های مختلف وایرلس نیاز به شبکه‌هایی خواهیم داشت که از نظر سرعت، ظرفیت و کیفیت بالاتر باشند. علاوه بر این، سیستم های ارتباطی مختلف از جمله ماهواره‌ها با نرخ بیت کم، شبکه‌های سلولی، شبکه‌های محلی و شخصی با نرخ بیت بالا و رنج کم، همگی سهم خود را از طیف فرکانسی محدود می‌خواهند. بنابراین تکنولوژی‌های جدید برای بهبود بازده طیف سیستم‌های وایرلس مورد نیاز هستند. از جمله ی این تکنیک‌ها می توان از آنتن‌های هوشمند، و به طور خاص تکنولوژی MIMO، مدولاسیون‌های کد شده با چند کریر، مدولاسیون وفقی و کدینگ نام برد. با ترکیب هوشمندانه‌ی این فناوری‌ها می‌توان سیستمی با بازدهی طیف بسیار بهتر و سرعت بالاتر داشت. این آنتن‌ها از دامنه فرکانسی خاصی استفاده می‌کنند. دامنه‌ای که تاکنون تقریبا غیر استفاده بود و نیز از یک ساختار چندمسیری از یک کانال، هم چنین برای انتقال ادغام شده و چندگانه، با یک خط مخابراتی و انتقال موازی چندین دسته داده به طور هم زمان از MIMO استفاده می‌شود. هنگامی که استاندارد n۸۰۲.۱۱ منتشر شد و بسیاری تجهیزات شبکه‌های وایرلس به آن مجهز شدند و رؤیای سرعت سیصد مگابیت برثانیه تحقق یافت، انقلابی در شبکه‌های Wi-Fi به وجود آورد. اما خیلی زود تلاش‌ها و برای

رسیدن به سرعت بیشتر شروع شد و ترفندهایی مانند استفاده از فناوری MIMO و دستیابی به سرعت ششصد مگابیت بر ثانیه نیز نتوانست مانع تولد یک رؤیای جدید شود.

با کمک فناوری MIMO که همزمان با استاندارد n۸۰۲.۱۱ معرفی و به کار گرفته شد، می‌توان یک کانال را به چندین قسمت مجزا برای دریافت و ارسال سیگنال‌های ورودی و خروجی تقسیم کرد، یعنی تصور کنید یک فایل صدمگابایت به جای این‌که فقط از یک کانال ارسال و از یک کانال دریافت شود، به دو یا چند قسمت تقسیم شده و هر قسمت توسط یک کانال ارسال و دریافت شود. این کانال‌ها روی یکدیگر هم‌پوشانی ندارند برای هر کانال می‌توان از یک آنتن مجزا استفاده کرد. در استاندارد n۸۰۲.۱۱ حداکثر می‌توانستید از MIMO 4×4 استفاده کنید؛ یعنی چهار آنتن برای ارسال و دریافت اطلاعات. در استاندارد جدید ac۸۰۲.۱۱ عدد چهار به عدد هشت افزایش خواهد یافت. همچنین از یک فناوری پیشرفته‌تر MIMO به نام MU-MIMO یا Multi User MIMO استفاده خواهد شد. به زبان ساده، این فناوری امکان استفاده چندین نفر را از کانال‌های چند ورودی و خروجی فراهم می‌کند.

منابع و مآخذ:

[1] R. G. Vaughan and J. B. Andersen, “Antenna diversity in mobile communications,” *IEEE*
Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-36, no.4, November 1987.

[2] Forenza, R. W. Heath, “Benefit of Pattern Diversity via Two-Element Array of Circular Patch
Antennas in Indoor Clustered MIMO Channels,” *IEEE Transactions on Communications*, vol.
54, no. 5, May 2006.

[3] J. A. Stratton, *Electromagnetic Theory*, New York: McGraw-Hill, 1941.

[4] L. J. Chu, “Physical limitations of omni-directional antennas,” *Journal of Applied Physics*, vol.
19, 1948.

[5] M. Mohajer, S. Safavi-Naeini, S.K. Chaudhuri, “Surface current source reconstruction for

given Radiated Electromagnetic Fields," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*,

[6] M. Abramowitz, I. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions*, Dover Publications, New
York

[7] M. Mohajer, Student Member, IEEE , S. Safavi-Naeini , *Spherical Vector Wave Method for Analysis and Design of MIMO Antenna Systems*