

MIMO-OFDM

تخمین کانال و همسان سازی داده‌ها در سیستم‌های MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک توسط الگوریتم آنالیز مولفه‌های مستقل

کلمات کلیدی: آنالیز مولفه‌های مستقل، تبدیل موجک گسسته، تخمین کور کانال، سیستم MIMO-OFDM.

۱- مقدمه

سیستم‌های مخابراتی که از چند آنتن در سمت فرستنده و گیرنده استفاده می‌کنند به عنوان سیستم‌های MIMO^۱ شناخته می‌شوند، از این سیستم‌ها برای افزایش نرخ ارسال و افزایش ظرفیت در کانال مخابراتی استفاده می‌شود. بیشتر این سیستم‌ها در کانال‌های باند باریک استفاده می‌شوند، در صورت استفاده از کانال‌های بی‌سیم پهن‌بند، می‌توان از مدولاسیون OFDM^۲ در سیستم‌های MIMO استفاده کرد. از این مدولاسیون برای ارسال داده‌هایی با نرخ بیت بالا در سیستم‌های مخابراتی استفاده می‌شود، یعنی اطلاعات با نرخ بیت بالا بر روی چند زیرحامل با نرخ بیت‌های پایین‌تر به صورت موازی ارسال می‌گردند. همچنین این مدولاسیون دارای قابلیت بالایی جهت حذف تداخل بین سمبل‌ها در کانال‌های چند مسیره است و برای ارسال هر پیام، از چند زیرحامل استفاده می‌شود. فاصله این حامل‌ها طوری‌ست که با یکدیگر تداخل نداشته باشند در نتیجه بر هم عمود خواهند بود. اگر تعامل زیرحامل‌ها به دلیلی از بین برود، تداخل بین حاملی رخ می‌دهد که باعث افت شدید عملکرد سیستم می‌شود. OFDM و کانال‌های MIMO می‌توانند در کنار هم عملکرد سیستم‌های مخابراتی را بهبود بخشند. تکنیک MIMO-OFDM به عنوان یک روش کارآمد برای بالا بردن راندمان طیفی سیستم‌های پهن‌بند به کار می‌رود [۱]. یکی از چالش‌های مهم در سیستم MI-MO-OFDM، تخمین کانال و همسان سازی داده‌ها با دقت و سرعت بالا به منظور جداسازی و آشکارسازی صحیح سیگنال‌های دریافتی در گیرنده است. با توجه به اینکه در آشکارسازی سیگنال‌های

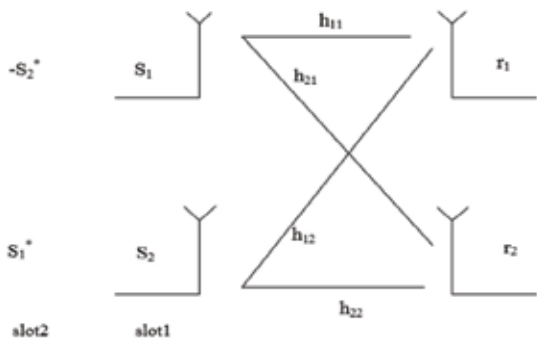
نیکزاد فیروزآبادی/کارشناس ارشد مهندسی برق- سیستم/ دانشگاه صنعتی سجاد
nikzad.frouzabadi@yahoo.com

غزاله سربیشه‌ای/ دکتری مخابرات/ استادیار/ دانشگاه صنعتی سجاد
arbisheie@sadjad.ac.ir

چکیده

در سیستم‌های مخابراتی، تخمین مشخصات کانال و همسان سازی داده‌ها در کانال‌های بی‌سیم متغیر با زمان، به جهت انتقال صحیح و دقیق داده و به منظور آشکارسازی بهتر سیگنال‌های دریافتی در گیرنده ضروری می‌باشد. دستیابی به یک روش تخمین کانال که بتواند در هر لحظه تغییرات کانال را با سرعت و دقت بالا و حجم کمی از محاسبات دنبال کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های گوناگونی برای طراحی الگوریتم‌های تخمین کانال وجود دارد. در این مقاله، قصد داریم پس از بررسی سیستم‌های OFDM مبتنی بر تبدیل فوری و تبدیل موجک و سیستم‌های MIMO، به تخمین و همسان سازی کانال در ترکیب این سیستم‌ها بپردازیم. تخمین کور کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM یک حوزه‌ی مطالعاتی جدید برای محققان است که مشابه ساختار جداسازی کور منابع می‌باشد. الگوریتم‌های مختلف آنالیز مولفه‌های مستقل یکی از روش‌ها برای تخمین کور کانال است. الگوریتم آنالیز مولفه‌های مستقل نسبت به سایر روش‌ها پیچیدگی محاسباتی کمتر و همچنین ارزش نرخ خطای بیت کمتری دارند. نتایج شبیه سازی توسط این روش، مقدار نرخ خطای بیت کمتر و عملکرد بهتری را برای سیستم MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک نسبت به تبدیل فوری برای تخمین کانال این سیستم‌ها در کانال‌های رایلی نشان می‌دهد.

سمبل و در یک زمان و در دو فاصله زمانی متوالی ارسال می‌شوند. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌کنید، در فاصله زمانی اول از اولین آنتن و از دومین آنتن ارسال می‌شود. در فاصله زمانی دوم از آنتن اول و از آنتن دوم ارسال می‌شود.

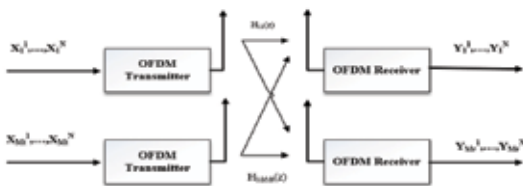


شکل ۱: آنتن MIMO با کدینگ موتی

از آنجا که دو سمبل در دو فاصله زمانی ارسال می‌شوند، مجموع نرخ ارسال، برابر با ارسال یک سمبل در استفاده از کانال است.

$$\begin{aligned} r_1(1) &= h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + n_1(1) \\ r_1(2) &= -h_{11}s_2^* + h_{12}s_1^* + n_1(2) \\ r_2(1) &= h_{21}s_1 + h_{22}s_2 + n_2(1) \\ r_2(2) &= -h_{21}s_2^* + h_{22}s_1^* + n_2(2) \end{aligned} \quad (1)$$

دو بخش عمده در سیستم MIMO-OFDM وجود دارد که یکی فرستنده و دیگری گیرنده این سیستم‌ها است. شکل (۲) مدل کلی این سیستم را نشان می‌دهد. که فرستنده، سیگنال‌های منبع را به طور هم زمان از MT آنتن فرستنده انتقال می‌دهد. در حالی که، گیرنده به MR آنتن برای دریافت سیگنال‌ها مجهز است. در مراحل بالاتر تعداد آنتن‌ها افزایش پیدا می‌کند و اجزای ماتریس انتقال تخمین زده می‌شود [۴].



شکل ۲: مدل کلی سیستم MIMO-OFDM

۲-۲- شبیه‌سازی سیستم MIMO-OFDM

در این قسمت یک سیستم MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک و تبدیل فوریه توسط نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شد و موثر بودن تبدیل موجک نسبت به تبدیل فوریه در این سیستم‌ها نشان داده شده است. تعداد آنتن‌های ورودی و خروجی در سیستم MIMO دو در نظر گرفته شده است و مدولاسیون استفاده شده در این

در این سیستم‌ها، فرض بر این است که ماتریس ضرایب کانال برای گیرنده مشخص باشد، بنابراین برای آشکارسازی صحیح سیگنال ارسالی تخمین ماتریس کانال در تمام زیرحامل‌ها امری ضروری است. بررسی روش‌های تخمین کانال، دقیق، سریع و با پیچیدگی محاسباتی کم در این سیستم‌ها امری ضروری است. هدف ما تخمین کانال در سیستم‌هایی مبتنی بر تبدیل موجک است. در این پروژه قصد داریم از سیستم OFDM مبتنی بر تبدیل موجک گسسته در مخابرات چند آنتنی استفاده کنیم. OFDM مبتنی بر تبدیل موجک نیازی به پیشوند چرخشی ندارد از این رو می‌توانیم از پهنای باند استفاده‌ی بهینه کنیم. موجک‌ها هم در حوزه زمان و هم در حوزه فرکانس دارای طول محدود و تعامد هستند به این دلیل می‌توانیم از آنها به‌منظور تولید شکل موج مناسب برای انتقال روی کانال استفاده کنیم. در این مقاله پس از شبیه‌سازی سیستم MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک، هدف ما تخمین ضرایب کانال برای بازسازی داده‌های ارسالی توسط منابع اصلی است. در گذشته تخمین کانال و همسان‌سازی داده‌ها توسط سمبل‌های راهنما انجام می‌شد که روش‌های LS^۳ و MMSE^۴ از روش‌های کارآمد در این زمینه بودند. تخمین کانال به کمک پایلوت روشی است که در آن سیگنال‌های شناخته شده به نام پایلوت، با الگوی مشخص در میان داده برای تخمین اطلاعات کانال ارسال می‌شوند. این روش‌ها به دلیل انتقال سمبل‌های آموزشی اضافه شده به سمبل‌های داده، سبب استفاده بیش از حد از پهنای باند و صرف انرژی می‌شوند و عملکرد سیستم را پایین می‌آورند. برای غلبه بر این مشکل روش‌های تخمین کور و نیمه کور پیشنهاد شد که این روش‌ها باعث حفظ کارایی پهنای باند می‌شوند و کانال را بر اساس اطلاعات آماری سیگنال دریافتی تخمین می‌زنند. یکی از روش‌های تخمین کور کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM، روش جداسازی کور منابع^۵ است. در این مقاله سعی کرده‌ایم تا با استفاده از الگوریتم آنالیز مولفه‌های مستقل^۶، ضرایب کانال و داده‌های منابع اصلی را تخمین بزنیم. در ادامه و در بخش دوم به بررسی سیستم‌های MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل فوریه و تبدیل موجک گسسته می‌پردازیم و این دو سیستم را با هم مقایسه می‌کنیم، سپس در بخش سوم به مفهوم جداسازی کور منابع و الگوریتم آنالیز مولفه‌های مستقل می‌پردازیم. بخش چهارم به تخمین کانال و همسان‌سازی داده‌ها با استفاده از آنالیز مولفه‌های مستقل می‌پردازیم. در نهایت، بخش آخر به نتیجه‌گیری کلی اختصاص می‌یابد [۱] [۲].

۲- سیستم‌های MIMO-OFDM

سیستم‌هایی با چند آنتن در سمت فرستنده و گیرنده و مدولاسیون OFDM، دو تکنولوژی ترکیب شده هستند که بستر مناسبی را برای انتقال داده‌ها با نرخ بالا در سیستم‌های مخابراتی نسل چهارم فراهم می‌کنند و عملکرد این سیستم‌ها را بهبود می‌بخشند. برای اینکه از سیستم OFDM مبتنی بر تبدیل موجک در سیستم‌های MIMO بهره بگیریم، باید در این سیستم‌ها، بلوک‌های تبدیل فوریه و عکس تبدیل فوریه را با بلوک‌های تبدیل موجک و عکس تبدیل موجک جایگزین کنیم و با این کار باعث بهبود هر چه بیشتر عملکرد سیستم و استفاده‌ی بهینه‌تر از پهنای باند می‌شویم [۳] [۴].

۲-۱- کدینگ موتی^۷

کد STBC^۸ موتی یک روش ساده برای دستیابی به تنوع فضایی در سیستم‌های MIMO است و باعث می‌شود تا بدون از دست دادن نرخ داده به بیشترین بهره چندگانگی دست یابیم. در کدینگ موتی دو

$$\hat{x}(t) = W \cdot y(t) \quad (3)$$

$$W = A^{-1} \quad (4)$$

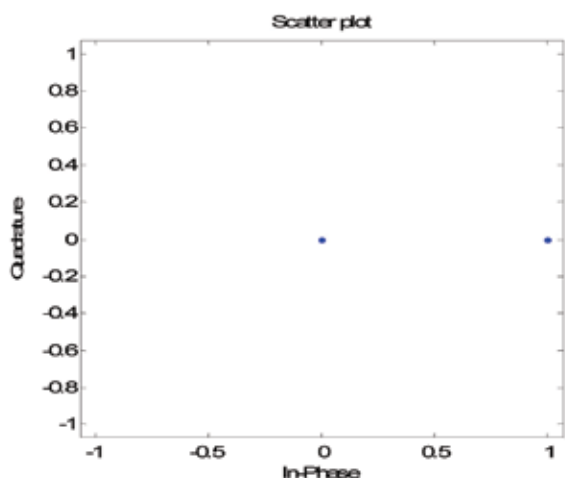
اگر تخمین ماتریس جداساز صحیح باشد ما به تقریب خوبی از سیگنال منابع می‌رسیم. برای حل مساله توسط تکنیک آنالیز مولفه‌های مستقل، پیش پردازش‌هایی لازم است. مرکزی‌سازی و سفیدسازی و تکرار پردازش سه مرحله از مراحل پیش پردازش هستند [۵] [۶].

$$\hat{x}_1(t) = W_{11}y_1(t) + W_{12}y_2(t) \quad (5)$$

$$\hat{x}_2(t) = W_{21}y_1(t) + W_{22}y_2(t) \quad (6)$$

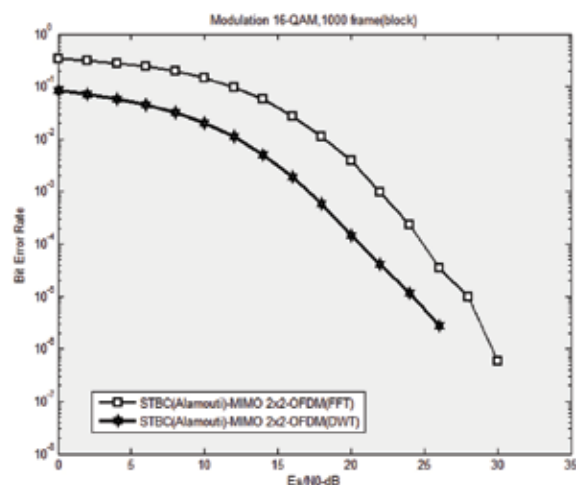
به منظور حل مساله جداسازی کور منابع، الگوریتم‌های متنوعی پیشنهاد شده است که اختلاف میان این روش‌ها بر اساس اندازه‌گیری میزان استقلال میان مولفه‌های خروجی، کاهش اطلاعات متقابل و افزایش تشابه بین آن‌ها می‌باشد [۶] [۷]. در ادامه یک نمونه از تخمین ماتریس کانال در یک سیستم MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک نشان داده شده است.

این شبیه‌سازی توسط مدولاسیون 16-QAM و در کانال رایلی همراه با نویز گوسی شبیه‌سازی شده است. در شکل (۴) و شکل (۶) یک رشته داده که شامل صفر و یک است به دوزیر رشته تقسیم می‌شود. سپس هر یک از زیر رشته‌ها از مدولاتور عبور می‌کنند و وارد مدولاتور OFDM مبتنی بر تبدیل موجک می‌شوند و سپس توسط آنتن‌های یک و دو در سمت فرستنده ارسال می‌شوند، داده‌های مدوله شده در شکل (۵) و شکل (۷) نشان داده شده‌اند. این داده‌ها در کانال توسط ضرایب کانال MIMO با یکدیگر ترکیب می‌شوند که در شکل (۸) و شکل (۹) مشاهده می‌کنید و داده‌های ترکیب شده فرستاده می‌شوند و توسط آنتن‌های گیرنده دریافت می‌شوند و عکس عملیات گفته شده بر روی داده‌های دریافتی صورت می‌گیرد. در نهایت هدف ما جداسازی داده‌های ترکیبی دریافت شده، با استفاده از تخمین ماتریس کانال است تا به داده‌های اصلی فرستاده شده توسط آنتن‌های فرستنده دست یابیم. در شکل (۱۰) و شکل (۱۱) داده‌های جداسازی شده را مشاهده می‌کنید این جداسازی توسط الگوریتم JADE انجام شده است. در شکل (۱۲) و شکل (۱۳) هم به داده‌های اصلی دست یافتیم.



شکل ۴: داده‌های تولید شده توسط منبع اول به صورت تصادفی

سیستم‌ها، 16-QAM است. در این سیستم، در ابتدا، داده‌ها بعد از مدولاسیون توسط کدینگ الموتی، کدگذاری شده‌اند و توسط مدولاسیون OFDM مدوله شده و از طریق ماتریس کانال MIMO با یکدیگر ترکیب می‌شوند. سپس از کانال رایلی مختلط عبور داده شده و در سمت گیرنده، عکس عملیات فرستنده انجام می‌شود و در نهایت نتایج نرخ خطای بیت^۱ نسبت به سیگنال به نویز^۱ سنجیده می‌شود که در شکل (۳) نشان داده شده است.



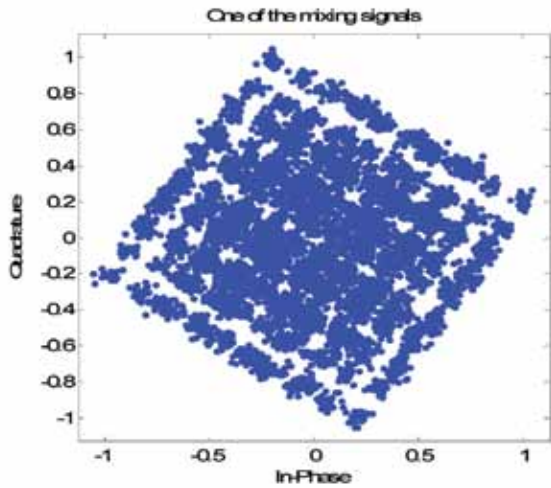
شکل ۳: مقایسه نسبت BER به SNR برای سیستم‌های MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل فوریه و تبدیل موجک

۳- جداسازی کور منابع و آنالیز مولفه‌های مستقل

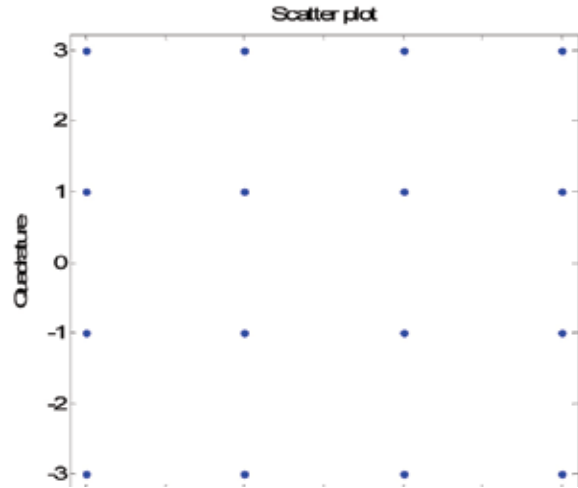
آنالیز مولفه‌های مستقل (ICA)، یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای حل مساله تفکیک کور منابع و یک روش آماری است. از جداسازی کور منابع برای تخمین مشخصات کانال استفاده می‌کنیم و هدف، پردازش سیگنال‌های مشاهده شده در سمت گیرنده است به طریقی که سیگنال‌های منابع اصلی از سیگنال‌های مشاهده شده استخراج شوند. با این فرض که سیگنال‌های منابع، مستقل از هم و دارای توزیع غیرگوسی باشند. مشکل جداسازی و تخمین شکل موج‌های منابع اصلی در گیرنده بدون داشتن اطلاعات مشخصات کانال انتقال و منابع، به مشکل جداسازی کور گفته می‌شود. کلمه‌ی کور به این دلیل به کار برده می‌شود که ما هیچ اطلاعاتی از چگونگی تولید و ترکیب سیگنال‌ها نداریم. فرض می‌کنیم که N سیگنال مستقل آماری داریم، $X_i(t), i=1, \dots, N$ و این سیگنال‌ها را با استفاده از N آنتن مشاهده می‌کنیم. پس N مجموعه از سیگنال‌های مشاهده شده $Y_i(t), i=1, \dots, N$ داریم که مخلوطی از سیگنال‌های منابع اصلی هستند. یکی از جنبه‌های اساسی در مرحله‌ی ترکیب سیگنال‌ها این است که آنتن‌ها در فضا جدا از هم باشند یا فاصله داشته باشند. پس هر آنتن، ترکیب متفاوتی از منابع را به دست می‌آورد. با فرض جدایی فضایی آنتن‌ها، مراحل ترکیب با ضرب ماتریس را به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$Y(t) = A \cdot x(t) \quad (2)$$

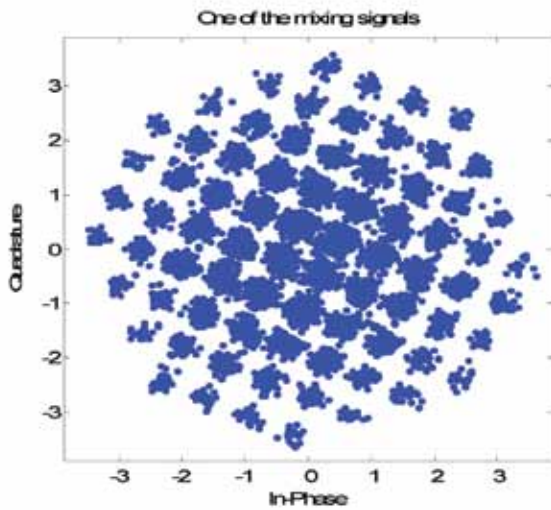
که ماتریس ترکیب است و ناشناخته است. و نیز به ترتیب، معرف بردار سیگنال‌های مشاهده شده و سیگنال‌های منابع هستند. هدف بازیابی سیگنال‌های اصلی از سیگنال‌های مشاهده شده است که منابع بازیابی شده را با تخمین ماتریس جداساز W توسط الگوریتم JADE^{۱۱} که یکی از الگوریتم‌های آنالیز مولفه‌های مستقل است، به دست می‌آوریم.



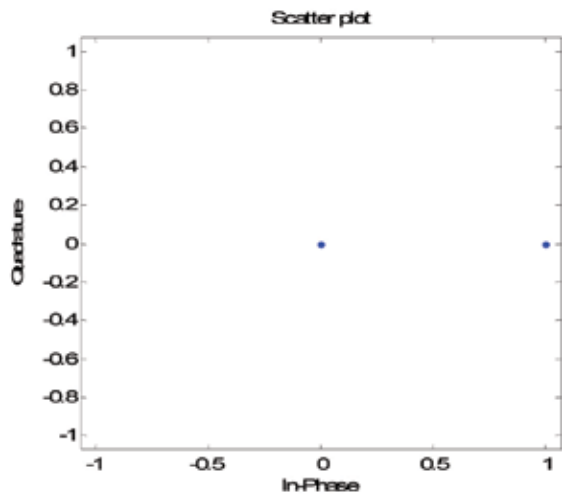
شکل ۸: داده‌های ترکیب شده توسط ماتریس کانال MIMO



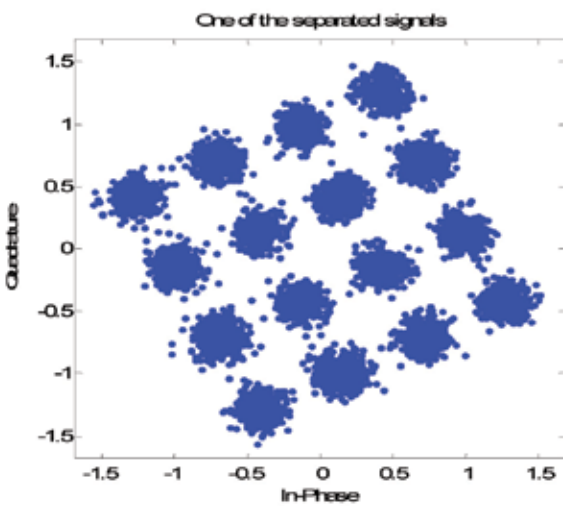
شکل ۵: داده‌های مدوله شده توسط 16-QAM



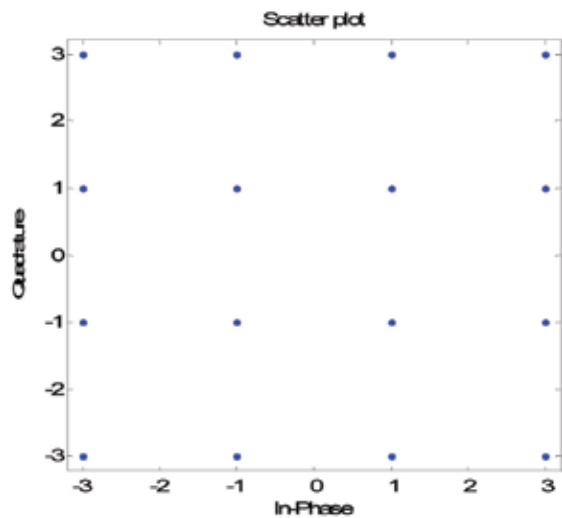
شکل ۹: داده‌های ترکیب شده توسط ماتریس کانال MIMO



شکل ۶: داده‌های تولید شده توسط منبع دوم به صورت تصادفی

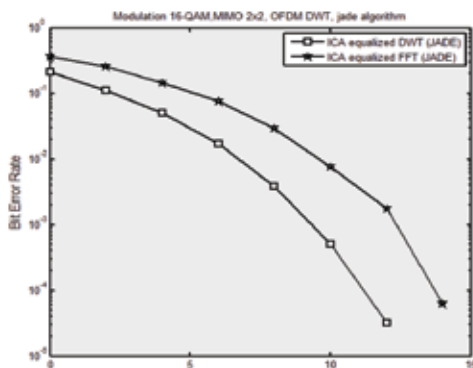


شکل ۱۰: جداسازی داده‌ها توسط الگوریتم JADE



شکل ۷: داده‌های مدوله شده توسط 16-QAM

نشان می‌دهد که همسان‌سازی داده‌ها در یک سیستم مبتنی بر تبدیل موجک بهتر انجام می‌گیرد.



شکل ۱۴: مقایسه BER نسبت به SNR در دو سیستم MIMO-OFDM تخمین‌زده شده، مبتنی بر تبدیل فوری و موجک

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به بررسی سیستم‌های MIMO-OFDM پرداختیم و با استفاده از نرم‌افزار متلب، این سیستم‌ها را شبیه‌سازی کردیم و به این نتیجه رسیدیم که سیستم مبتنی بر تبدیل موجک از عملکرد بسیار بهتری در مقایسه با سایر سیستم‌ها برخوردار است. هدف ما در این مقاله، تخمین کانال و همسان‌سازی داده‌ها در سیستم MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک گسسته با استفاده از الگوریتم آنالیز مولفه‌های مستقل است که نسبت به سایر روش‌های تخمین، از عملکرد بهتری برخوردار است. ما سعی کردیم با شبیه‌سازی توسط نرم افزار متلب داده‌های این سیستم‌ها را به‌طور کامل توسط الگوریتم JADE تخمین بزنیم. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌ها، تخمین تقریبی و صحیحی از داده‌های ورودی سیستم، برای ما فراهم کرد.

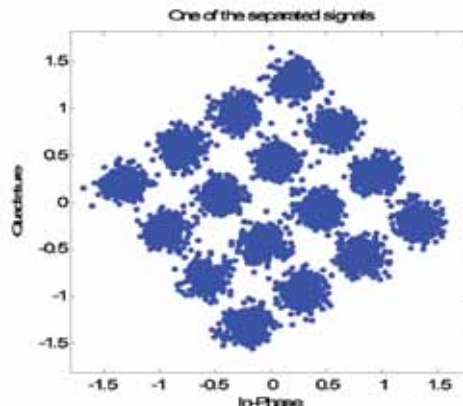
پی‌نوشت‌ها

۱. سیستم چند ورودی - چند خروجی
۲. مدولاسیون تقسیم فرکانس عمود بر هم
۳. حداقل مربعات
۴. کم کردن خطای میانگین مربعات

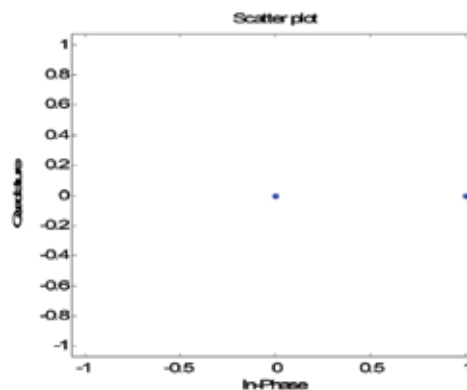
5. Blind Source Separation
6. Independent Component Analysis (ICA)
7. Alamouti Coding
8. کدینگ فضا-زمان
9. Bit Error Rate
10. Signal to Noise Ratio
11. Joint Approximate Diagonalization of Eigen Matrices

مراجع

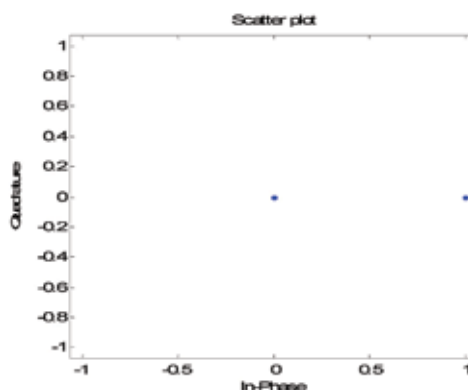
- [1] Curnew, S.R. and Ilow, J., 2007, July. "Blind signal separation in MIMO OFDM systems using ICA and fractional sampling". In Signals, Systems and Electronics, 2007. ISSSE'07. International Symposium on (pp. 67-70). IEEE.
- [2] Shin, C., Heath, R.W. and Powers, E.J., 2007. "Blind channel estimation for MIMO-OFDM systems". IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56(2), pp.670-685.
- [3] Bouhlef, A., Sakly, A. and Mansouri, N., 2015. "Performance Comparison of DWT Based MIMO OFDM and FFT Based MIMO OFDM". Procedia Computer Science, 73, pp.266-273.
- [4] Hampton, J.R., 2013. Introduction to MIMO communications. Cambridge university press.
- [5] Naik, G.R. and Kumar, D.K., 2011. An overview of independent component analysis and its applications. Informatica: An International Journal of Computing and Informatics, 35(1), pp.63-81.
- [6] Hyvärinen, A., Karhunen, J. and Oja, E., 2004. Independent component analysis (Vol. 46). John Wiley & Sons.
- [7] Sarperi, L., Zhu, X. and Nandi, A.K., 2007. Blind OFDM receiver based on independent component analysis for multiple-input multiple-output systems. IEEE Transactions on Wireless Communications, 6(11).



شکل ۱۱: جداسازی داده‌ها توسط الگوریتم JADE



شکل ۱۲: داده‌های دمدوله شده و بازسازی شده



شکل ۱۳: داده‌های دمدوله شده و بازسازی شده

۴- همسان‌سازی داده‌ها در سیستم MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک با استفاده از الگوریتم JADE

در این قسمت به همسان‌سازی داده‌ها در یک سیستم MIMO-OFDM مبتنی بر تبدیل موجک و تبدیل فوری، توسط الگوریتم JADE پرداختیم. این سیستم توسط مدولاسیون 4-QAM و کانال تخت با نویز گوسی شبیه‌سازی شده است در این قسمت، پس از تخمین ضرایب کانال و همسان‌سازی داده‌ها توسط الگوریتم JADE، داده‌های فرستاده شده با داده‌های همسان‌سازی شده مقایسه شده‌اند و نمودار نسبت نرخ خطای بیت با سیگنال به نویز هم رسم شده است. نتایج شبیه‌سازی