

طراحی گیرنده مقاوم نسبت به خطای تخمین کانال در سیستم MIMO-NOMA

نعیمه مظفرزاده^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد، حسین خالقی بیزکی^۲، استاد

۱- مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی مالک اشتر - تهران - ایران - n.mozafarzadeh@yahoo.com

۲- مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی مالک اشتر - تهران - ایران - bizaki@gmail.com

چکیده: یکی از روش های دست یابی چندگانه غیرمتعامد، روش NOMA می باشد که به عنوان یک روش دست یابی با کارایی طیفی بالا به شمار می رود. جهت دست یابی به ظرفیت و بهره طیفی بالاتر، ترکیب روش NOMA و سیستم MIMO تحت عنوان سیستم MIMO-NOMA برای مخابرات سیار نسل پنجم پیشنهاد شده است. عملکرد سیستم های مخابراتی به ویژه سیستم MIMO-NOMA تا اندازه زیادی وابسته به دقت تخمین کانال است، به گونه ای که بازدهی سیستم در حضور خطای تخمین کانال کاهش چشمگیری می یابد. در این مقاله اثر خطای تخمین کانال بر سیستم MIMO-NOMA در لینک فرو سو برر سی و آشکار ساز جدیدی جهت بهبود عملکرد این سیستم در حضور خطای تخمین کانال ارائه می گردد. آشکار ساز پیشنهادی در سه گام اثر خطای تخمین کانال و تداخل سیگنال کاربران بر داده دریافتی را تقلیل می دهد. نتایج شبیه سازی بیانگر آن است که آشکار ساز پیشنهادی در مقایسه با آشکار ساز MMSE برای کاربر دور و آشکار ساز MMSE-SIC برای کاربر نزدیک می تواند احتمال خطا را به نحو قابل ملاحظه ای کاهش داده و موجب بهبود عملکرد سیستم MIMO-NOMA در حضور خطای تخمین کانال گردد.

واژه های کلیدی: دست یابی چندگانه غیر متعامد (NOMA)، سیستم MIMO-NOMA، گیرنده حذف متوالی تداخل (SIC)، مخابرات سیار نسل پنجم، خطای تخمین کانال.

Design robust receiver against channel estimation error in MIMO-NOMA system

N. Mozafarzadeh¹, MSc Student, H. Khaleghi Bizaki², Associate Professor

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran, Email: n.mozafarzadeh@yahoo.com

2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran, Email: bizaki@gmail.com

Abstract: One of the non-orthogonal access techniques is non-orthogonal multiple access (NOMA) that is known as an access technique with high spectral efficiency. The combination of NOMA technique and MIMO system which is called MIMO-NOMA system has been offered in order to achieve higher capacity and spectral gain for 5G mobile communication. The performance of communication systems especially MIMO-NOMA system, significantly depends on channel estimation accuracy as the system efficiency decrease dramatically in the presence of channel estimation error. In this paper, the channel estimation error effect in downlink MIMO-NOMA system is investigated and a new detector which aims to improve the performance of system is proposed despite the channel estimation error. The proposed detector decreases both the effects of channel estimation error and the interference of user in three steps. Simulation results indicate that the proposed detector decreases the error probability and improves the system performance compared to that of the MMSE detector for far user and MMSE-SIC detector for near user considerably.

Keywords: Non-orthogonal multiple access (NOMA), MIMO-NOMA system, successive interference cancellation (SIC) receiver, 5G mobile communication, channel estimation error.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸

نام نویسنده مسئول: حسین خالقی بیزکی

نشانی نویسنده مسئول: تهران - تقاطع بزرگراه شهید بابایی و امام علی - دانشگاه صنعتی مالک اشتر - مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

روش‌های آشکار سازی در حضور خطای تخمین کانال در برخی از مقالات ارائه شده است. در مرجع [۱۲] آشکار سازی در حضور خطای تخمین کانال برای سیستم MIMO معرفی گردیده است، این آشکار ساز توانسته عملکرد بهتری نسبت به آشکار ساز زیر بهینه^۵ MMSE در حضور خطای تخمین کانال داشته باشد اما عملکرد آشکار ساز معرفی شده و پیچیدگی محاسباتی آن برای سیستم MIMO-NOM بررسی نگردیده است.

مرجع [۱۳] تخمینگر خطی جدیدی برای سیستم^۶ SISO-NOMA با دو کاربر و با در نظر گرفتن خطا در تخمین کانال معرفی نموده است. این تخمینگر میزان تداخل کاربر نزدیک به ایستگاه پایه را تا حد مشخصی بی‌شینه می‌نماید. این حد به صورتی تعریف می‌گردد که میزان تداخل در نظر گرفته شده بر بازبایی اطلاعات کاربر دور از ایستگاه پایه تاثیر مخرب نگذارد. حد مورد نظر بر اساس الگوریتم تکرار^۷ CCCP و درون بایی خطی، به دست می‌آید. از جمله معایب تخمینگر معرفی شده، پیچیدگی محاسباتی آن نسبت به روش^۸ ML و^۹ MMSE می‌باشد. همچنین، عملکرد تخمینگر در سیستم MIMO-NOMA با پیچیدگی محاسباتی بیشتر نسبت به سیستم SISO-NOMA همراه بوده و نیاز به دقت بیشتر در تعیین حد مورد نظر جهت جلوگیری از افزایش احتمال خطای سیستم را ضروری می‌نماید.

مرجع [۱۴] با در نظر گرفتن دو روش جهت مدل نمودن خطای تخمین کانال سیستم MIMO-NOMA توانسته به صورت تحلیلی تقریب مناسبی برای احتمال قطع و میانگین نرخ ارسال سیستم پیشنهاد بدهد. از جمله معایب مدل‌های پیشنهادی در مرجع [۱۴] آن است که مدل اول تنها برای^۱ SNR بالا کارایی داشته و مدل دوم بر اساس خواص آماری مرتبه دوم کانال می‌باشد که برای کانال‌های با محوشدگی سریع^{۱۰} مناسب نمی‌باشد.

مرجع [۱۵] عملکرد سطح سیستمی^{۱۱}، ساختار MIMO-NOMA را در حضور خطای تخمین کانال بررسی و الگوریتم کنترل نرخ ارسال back-off را جهت تقلیل اثر خطای تخمین کانال پیشنهاد نموده است. با این وجود، در این مرجع از اثر SIC ناقص ناشی از خطای تخمین کانال در گیرنده کاربر نزدیک صرف نظر شده است، حال آنکه این پارامتر بر عملکرد سیستم تاثیر گذار است.

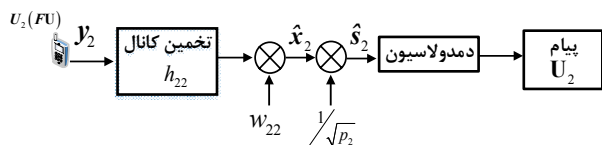
مقاله حاضر، به بررسی تاثیر خطای تخمین کانال بر کارایی سیستم MIMO-NOMA پرداخته و آشکار ساز جدیدی، جهت بهبود عملکرد سیستم MIMO-NOMA در حضور خطای تخمین کانال پیشنهاد می‌دهد. آشکار ساز پیشنهادی طی سه مرحله اثر خطای تخمین کانال و تداخل داده کاربران بر داده دریافتی در گیرنده را تقلیل می‌دهد. جهت بررسی کارایی آشکار ساز پیشنهادی، در شبیه سازی‌های ارائه شده، عملکرد آشکار ساز پیشنهادی با آشکار ساز MMSE برای کاربر دور و آشکار ساز MMSE-SIC برای کاربر نزدیک در حضور خطای تخمین کانال برای سیستم MIMO-NOMA مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی نشان دهنده کارایی قابل قبول آشکار ساز پیشنهادی در

نسل پنجم مخابرات سیار به مجموعه فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که قابلیت‌هایی فراتر از فناوری‌های نسل فعلی، و بویژه نسل چهارم، داشته و پاسخگوی نیاز کاربران متقاضی استفاده از مخابرات بی‌سیم با نرخ بالا، که تعداد آنها به طور روزافزون در حال افزایش هست، را دارا باشد [۱]. روش‌های دسترسی در نسل‌های پیشین مبتنی بر تسهیم^۱ فرکانس، زمان یا کد بوده‌اند که تمامی آنها با محدودیت در ظرفیت کاربران مواجه بوده و پاسخگوی نیاز کاربران در سال‌های آتی نمی‌باشند. روش NOMA^۲، به عنوان روش دسترسی غیر متعامد، امکان ارسال اطلاعات کاربران در فرکانس، زمان و کد یکسان و تنها مبتنی بر تفاوت در توان ارسالی را فراهم می‌آورد که این امر به نوبه خود موجب افزایش ظرفیت سیستم مخابراتی می‌گردد.

به دلیل کارایی مناسب روش NOMA در دستیابی به ظرفیت بالا در مقایسه با روش‌های متعامد در نسل چهارم سیستم‌های مخابرات سیار، روش NOMA به عنوان یکی از روش‌های دسترسی در نسل پنجم سیستم‌های سیار مورد توجه و بررسی قرار گرفت. یکی از اشکالات عمده روش NOMA وجود خطای ناشی از تداخل داده کاربران می‌باشد که تحقیقات قابل توجهی در این زمینه انجام شده است و خطای احتمال بیت/سمبل/بلاک روش NOMA در شرایط متفاوت مطابق با در نظر گرفتن کانال دارای محوشدگی، بررسی تعداد کاربران و تاثیر آن بر کارایی روش NOMA و بررسی تعداد آنتن‌های گیرنده و فرستنده در شیوه NOMA در مراجع [۲]-[۸] پرداخته شده است، البته در بررسی‌ها اثر ناشی از خطای تخمین کانال و استفاده از روش حذف متوالی تداخل (SIC^۳) لحاظ نگردیده است.

در مرجع [۹] خطای تخمین کانال و خطای ناشی از SIC ناقص در شیوه NOMA بررسی گردیده است و طرح تخصیص توان جدیدی برای روش NOMA ارائه گردیده است اما کارایی طرح تخصیص توان ارائه شده در ترکیب روش NOMA با روش‌های دیگر بررسی نگردیده است و به عنوان پیشنهاد در مقاله مطرح شده است.

همچنین، ترکیب روش NOMA با سیستم MIMO^۴ تحت عنوان سیستم MIMO-NOMA جهت دستیابی به نرخ ارسال بیشتر برای مخابرات سیار نسل پنجم مطرح می‌باشد [۱۰]. آشکار سازی سمبل‌ها در سیستم MIMO-NOMA به دلیل وجود تداخل سیگنال کاربران و همچنین استفاده از SIC با مقداری خطا همراه می‌باشد. مرجع [۱۱] یک روش آشکار سازی جهت کاهش اثر خطای ناشی از تداخل و به کارگیری روش SIC ارائه داده است که می‌تواند احتمال خطای سیستم MIMO-NOMA را بهبود بخشد اما در این روش، خطای ناشی از تخمین کانال بین فرستنده و گیرنده کاربران لحاظ نگردیده و تخمینگر کانال بدون خطا در نظر گرفته شده است. حال آن که در عمل تخمین کانال دارای خطا بوده و این خطا عملکرد سیستم را تحت تاثیر قرار داده و بازدهی آن را کاهش می‌دهد.



شکل (۲): بلوک دیاگرام گیرنده کاربر دور در سیستم MIMO-NOMA

ام و کاربر i ام، ضریب کانال بین فرستنده i ام و کاربر i ام، و نویز سیستم برای کاربر i ام می‌باشند. داده دریافتی در گیرنده کاربر دور و نزدیک را می‌توان به فرم ماتریسی رابطه (۵) نیز بیان نمود:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} \\ h_{12} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$Y = HX + N$$

پارامترهای Y, X, H و N به ترتیب معرف ماتریس های داده دریافتی در گیرنده، داده ارسالی در فرستنده، ضریب کانال بین فرستنده و گیرنده و نویز در سیستم MIMO-NOMA می‌باشند [۳]. در شکل (۲) بلوک دیاگرام گیرنده کاربر دور نمایش داده شده است.

مطابق شکل (۲) گیرنده کاربر دور داده y_2 را دریافت می‌کند، کاربر دور ضریب کانال h_{22} را با توجه پایلوت‌های دریافتی تخمین می‌زند و با فرض خطی بودن آشکارساز، ضریب آشکارساز مناسب w_{22} را جهت از بین بردن تاثیر کانال در داده دریافتی مطابق رابطه (۶) ضرب می‌نماید تا به تخمینی از سیگنال ارسالی به صورت \hat{x}_2 دست یابد.

$$\hat{x}_2 = w_{22} y_2 \quad (6)$$

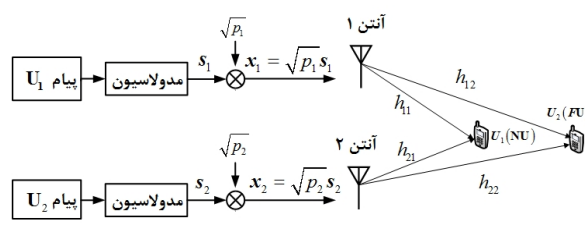
سپس معکوس ضریب تخصیص توان مربوط به کاربر دور تاثیر داده شده و بعد از دمدولاسیون، داده کاربر دور بازیابی می‌گردد. همان طور که در بلوک دیاگرام شکل (۲) مشخص است کاربر دور نیازی به بازیابی داده کاربر نزدیک در گیرنده خود ندارد و مطابق روش NOMA، داده کاربر نزدیک برای گیرنده کاربر دور، به علت توان کمتر تخصیص داده شده به آن، در گیرنده کاربر دور به عنوان نویز در نظر گرفته می‌شود. بلوک دیاگرام گیرنده کاربر نزدیک در شکل (۳) نشان داده شده است. مطابق شکل (۳)، کاربر نزدیک پس از دریافت داده‌ی خود ابتدا داده کاربر دور و ضریب کانال مربوطه را بازیابی نموده و سپس مطابق رابطه (۷) با استفاده از روش SIC اقدام به حذف داده کاربر دور از داده دریافتی خود می‌نماید.

$$\hat{y}_1 = y_1 - h_{21} x_2 \quad (7)$$

سپس ضریب کانال h_{11} در گیرنده کاربر نزدیک تخمین زده می‌شود. با فرض خطی بودن آشکارساز، ضریب آشکارساز w_{11} جهت حذف اثر کانال مطابق رابطه (۸) اعمال می‌گردد:

$$\hat{x}_1 = w_{11} \hat{y}_1 \quad (8)$$

و بعد از انجام این عملیات کاربر نزدیک اقدام به حذف اثر ضریب تخصیص توان و دمدولاسیون جهت بازیابی داده خود می‌نماید [۱۶].



شکل ۱: مدل سیستم MIMO-NOMA در لینک فروسو

حضور خطای تخمین کانال می‌باشد.

ساختار مقاله به این صورت تنظیم شده است: در ادامه و در بخش دوم مدل سیستم تشریح خواهد شد. تاثیر خطای تخمین کانال بر سیستم MIMO-NOMA در بخش سوم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم طراحی آشکارساز پیشنهادی برای سیستم MIMO-NOMA در حضور خطای تخمین کانال ارائه می‌گردد. نتایج شبیه سازی‌های انجام شده در بخش پنجم و نتیجه گیری از موارد ارائه شده در بخش ششم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مدل سیستم MIMO-NOMA

بلوک دیاگرام سیستم MIMO-NOMA در لینک فروسو را، مطابق شکل (۱) در نظر بگیرید که شامل یک ایستگاه پایه با دو آنتن و دو کاربر تک آنتنه به صورت U_1 نزدیک به ایستگاه پایه (کاربر نزدیک یا (NU)^۲ و U_2 دور از ایستگاه پایه (کاربر دور یا (FU)^۳، می‌باشد. هر آنتن در سمت فرستنده اطلاعات مربوط به یکی از کاربران را ارسال می‌نماید، به نحوی که اطلاعات ارسالی در آنتن نام برابر است با:

$$x_i = \sqrt{p_i} s_i, (i = 1, 2) \quad (1)$$

پارامترهای s_i, p_i و x_i در رابطه فوق به ترتیب، بیانگر داده کاربر i ام، ضریب تخصیص توان و سیگنال ارسالی برای کاربر i ام می‌باشند. لازم به ذکر است که مطابق روش NOMA، رابطه (۲) برای توان‌های تخصیص یافته به کاربران برقرار است:

$$\sum_{i=1}^2 p_i = 1 \quad (2)$$

کانال بین فرستنده و گیرنده دارای محو شدگی تخت کند با توزیع رایلی تک مسیره شبه ایستا در نظر گرفته می‌شود به طوری که کانال در طول ارسال یک فریم به طول L سمبل، ثابت باقی می‌ماند.

تحت این شرایط، سیگنال‌های دریافتی در گیرنده کاربر دور و نزدیک به ترتیب، مطابق روابط (۳) و (۴) عبارتند از:

$$y_1 = h_{11} x_1 + h_{21} x_2 + n_1 \quad (3)$$

$$y_2 = h_{22} x_2 + h_{12} x_1 + n_2 \quad (4)$$

$$y_i = h_{ii} x_i + h_{ji} x_j + n_i; (i \neq j; i, j = 1, 2)$$

در روابط (۳) و (۴) پارامترهای y_i, h_{ji}, h_{ii} و n_i به ترتیب معرف داده دریافتی در گیرنده کاربر i ام، ضریب کانال بین فرستنده j

در گیرنده کاربر دور نمی‌باشد. لذا در رابطه (۱۱) خطای تخمین h_{12} لحاظ نمی‌گردد. همچنین، مجموع نویز سیستم و تداخل ناشی از داده کاربر نزدیک در رابطه (۱۱) به صورت پارامتر \tilde{n}_2 در نظر گرفته شده است. عبارت $\Delta h_{22}x_2$ در رابطه (۱۱) ناشی از خطای تخمین کانال بوده و منجر به افزایش میزان تداخل برای کاربر دور شده و در نهایت سبب کاهش عملکرد مناسب سیستم MIMO-NOMA می‌گردد.

به طور مشابه با جایگذاری کانال مدل شده رابطه (۹) در داده دریافتی کاربر نزدیک مطابق رابطه (۳) داریم:

$$\begin{aligned} y_1 &= h_{11}x_1 + h_{21}x_2 + n_1 \quad (12) \\ &= (\hat{h}_{11} + \Delta h_{11})x_1 + (\hat{h}_{21} + \Delta h_{21})x_2 + n_1 \\ &= \hat{h}_{11}x_1 + \Delta h_{11}x_1 + \hat{h}_{21}x_2 + \Delta h_{21}x_2 + n_1 \end{aligned}$$

همان طور که در بخش قبل اشاره شد، کاربر نزدیک جهت بازبازی اطلاعات خود نیاز به بازبازی و حذف داده کاربر دور دارد. داده تخمینی کاربر دور، با در نظر گرفتن خطا در تخمین کانال، و فرض تخمین دقیق داده کاربر دور توسط کاربر نزدیک به صورت رابطه (۱۳) در نظر گرفته می‌شود:

$$\hat{y}_{2|U_1} = \hat{h}_{21}x_2 \quad (13)$$

پس از کسر نمودن آن از داده دریافتی کاربر نزدیک، می‌توان داده تخمینی کاربر نزدیک را مطابق رابطه (۱۴) در نظر گرفت:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= y_1 - \hat{y}_{2|U_1} = \hat{h}_{11}x_1 + \Delta h_{11}x_1 + \hat{h}_{21}x_2 + \Delta h_{21}x_2 \quad (14) \\ &+ n_1 - \hat{h}_{21}x_2 = \hat{h}_{11}x_1 + \Delta h_{11}x_1 + \Delta h_{21}x_2 + n_1 \\ &= \hat{h}_{11}x_1 + \Delta h_{11}x_1 + \tilde{n}_1 \end{aligned}$$

با توجه به رابطه (۱۴) مشاهده می‌گردد که عبارت $\Delta h_{11}x_1$ ناشی از خطای تخمین کانال بین فرستنده و گیرنده کاربر نزدیک در گیرنده این کاربر می‌باشد و بخش $\Delta h_{21}x_2$ به دلیل خطا در تخمین کانال مربوط به داده کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک می‌باشد که موجب باقی ماندن اثر داده کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک پس از اعمال SIC می‌شود. به عبارت دیگر، SIC به صورت ناقص انجام می‌شود که موجب تشدید اثر خطای تخمین کانال بر بازبازی صحیح داده کاربر نزدیک شده و به عدم بازبازی صحیح داده کاربر نزدیک منجر می‌گردد.

۳- اثر خطای تخمین کانال بر سیستم MIMO-NOMA

داده ارسالی با عبور از کانال مخابراتی دچار تغییراتی در دامنه و فاز می‌گردد. تخمین کانال در گیرنده جهت حذف اثر کانال و بازبازی صحیح اطلاعات ارسالی ضروری می‌باشد. در عمل تخمین کانال اغلب دارای خطا می‌باشد و این امر موجب خطا در بازبازی اطلاعات کاربران شده به گونه‌ای که بر عملکرد مناسب سیستم مخابراتی اثر نامطلوبی خواهد گذاشت. جهت بررسی عملکرد مناسب سیستم مخابراتی MIMO-NOMA حضور خطای تخمین کانال، با فرض مستقل بودن خطای تخمین از مقدار واقعی کانال، مدل کانال به صورت رابطه (۹) در نظر گرفته می‌شود:

$$h_{ji} = \hat{h}_{ji} + \Delta h_{ji}; (i, j=1, 2) \quad (9)$$

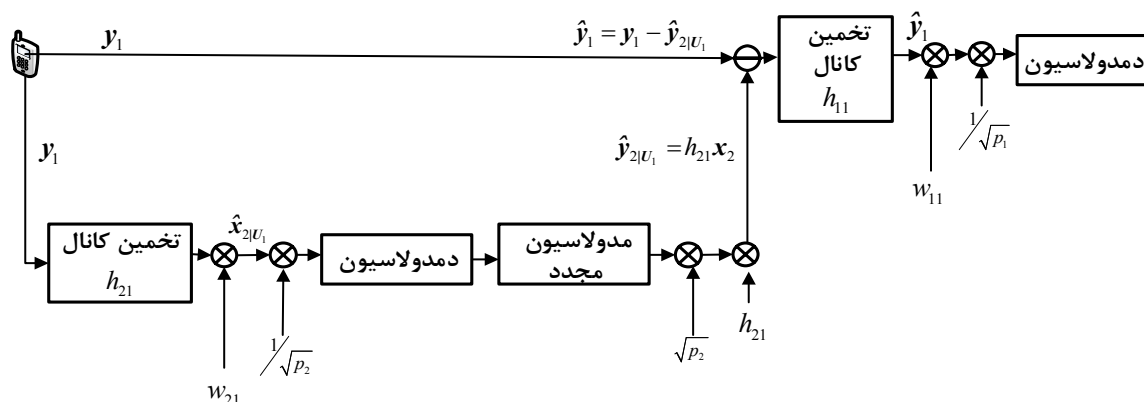
در رابطه (۹): h_{ji} به عنوان ضریب کانال واقعی در نظر گرفته می‌شود که با توزیع مختلط نرمال به صورت $CN(0, 1)$ مدل می‌گردد، \hat{h}_{ji} بیانگر تخمین کانال بوده که به صورت یک توزیع مختلط نرمال $CN(0, 1 - \sigma_{e_{ji}}^2)$ (در نظر گرفته می‌شود و Δh_{ji} به عنوان خطای تخمین کانال با توزیع مختلط نرمال $CN(0, \sigma_{e_{ji}}^2)$ مدل می‌شود [۱۷] به طوری که رابطه (۱۰) برقرار است.

$$E[\Delta h_{ji} \Delta h_{ji}^*] = \sigma_{e_{ji}}^2 \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، نماد $(.)^*$ بیانگر مزدوج می‌باشد. جهت بررسی تاثیر خطای تخمین کانال بر سیستم MIMO-NOMA، کانال مدل شده در رابطه (۹) باید در داده دریافتی کاربر دور و نزدیک جایگذاری شود. در ابتدا، داده کاربر دور را با جایگذاری کانال مدل شده رابطه (۹) در داده دریافتی کاربر دور مطابق رابطه (۴)، بازنویسی می‌نماییم:

$$\begin{aligned} y_2 &= h_{22}x_2 + h_{12}x_1 + n_2 = (\hat{h}_{22} + \Delta h_{22})x_2 + h_{12}x_1 + n_2 \quad (11) \\ &= \hat{h}_{22}x_2 + \Delta h_{22}x_2 + \tilde{n}_2 \end{aligned}$$

باتوجه به آنکه مطابق روش NOMA در گیرنده کاربر دور از SIC استفاده نمی‌شود و تداخل داده‌ی کاربر نزدیک، در گیرنده کاربر دور به عنوان نویز در نظر گرفته می‌شود لزومی به تخمین ضریب کانال h_{12}



شکل (۳): بلوک دیاگرام گیرنده کاربر نزدیک در سیستم MIMO-NOMA

تخمینی کاربر دور در گیرنده کاربر دور و سیگنال تخمینی کاربر نزدیک در گیرنده کاربر نزدیک بعد از اعمال SIC می‌باشد. لازم به ذکر است که مراحل طراحی ضریب آشکارساز w_{21} به عنوان ضریب آشکارسازی داده کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک برای تخمین $\hat{x}_{2|w_1}$ جهت اعمال SIC در گیرنده کاربر نزدیک مشابه طراحی ضریب آشکارساز w_{22} می‌باشد و در گام دوم طراحی ضریب آشکارساز پیشنهادی مقدار محاسبه شده برای w_{21} لحاظ می‌گردد.

جهت تعیین ضریب آشکارسازی w_{ii} ، تابع هزینه $J(w_{ii})$ را مطابق رابطه (۱۷) در نظر می‌گیریم. تابع هزینه $J(w_{ii})$ بیانگر متوسط مربع خطای تخمین سیگنال ارسالی می‌باشد. با تعیین ضریب w_{ii} به گونه‌ای که تابع هزینه $J(w_{ii})$ کمینه گردد، تاثیر خطای ناشی از تخمین کانال تقلیل می‌یابد. به عبارت دیگر، حداقل نمودن تابع هزینه $J(w_{ii})$ به معنای حداقل کردن متوسط خطای تخمین سیگنال از سالی با معلوم بودن خطای تخمین کانال می‌باشد [۱۸].

$$J(w_{ii}) = E_{x_i, n_i} \{ \|x_i - \hat{x}_i\|^2 \} = E_{x_i, n_i} \{ \|x_i - w_{ii} y_i\|^2 \} \quad (17)$$

در رابطه (۱۷)، $E_{x_i, n_i} \{ \cdot \}$ بیانگر امید ریاضی می‌باشد. با جایگذاری رابطه (۱۵) به عنوان رابطه داده دریافتی و با در نظر گرفتن خطای تخمین کانال به صورت رابطه (۹)، تابع هزینه $J(w_{ii})$ به صورت رابطه (۱۸) حاصل می‌گردد [۱۹].

$$\begin{aligned} J(w_{ii}) &= E_{x_i, n_i} \{ x_i - \hat{x}_i^2 \} = E_{x_i, n_i} \{ x_i - w_{ii} y_i^2 \} \\ &= E_{x_i, n_i} \{ (x_i - w_{ii} y_i) (x_i - w_{ii} y_i)^H \} \\ &= \sigma_x^2 - \sigma_x^2 \hat{h}_{ii}^* w_{ii}^* - \sigma_x^2 w_{ii}^* \hat{h}_{ii} + \sigma_x^2 w_{ii}^* w_{ii} \hat{h}_{ii} \hat{h}_{ii}^* + \sigma_x^2 w_{ii}^* w_{ii} \sigma_{e_i}^2 + \sigma_{n_i}^2 w_{ii}^* w_{ii} \end{aligned} \quad (18)$$

در رابطه (۱۸)، $(\cdot)^H$ بیانگر هرمیتین (مزدوج و ترانهاده) می‌باشد. همچنین، پارامتر σ_x^2 بیانگر متوسط توان سیگنال ارسالی x_i و پارامتر $\sigma_{n_i}^2$ بیانگر واریانس نویز سیستم می‌باشد. برای یافتن مقدار w_{ii} که تابع هزینه $J(w_{ii})$ را حداقل نماید از تابع هزینه $J(w_{ii})$ نسبت به w_{ii} مشتق جزئی گرفته و برابر صفر قرار می‌دهیم [۱۲]:

$$\frac{\partial J(w_{ii})}{\partial w_{ii}} = -\sigma_x^2 \hat{h}_{ii} + \sigma_x^2 \hat{h}_{ii}^* w_{ii}^* + \sigma_x^2 \sigma_{e_i}^2 w_{ii}^* + \sigma_{n_i}^2 w_{ii}^* \quad (19)$$

$$w_{ii} = \min_{w_{ii}} J(w_{ii}) \quad (20)$$

$$\rightarrow w_{ii} = \left[\hat{h}_{ii}^* \hat{h}_{ii} + \left(\sigma_{e_i}^2 + \left(\frac{\sigma_{n_i}^2}{\sigma_x^2} \right) \right) \right]^{-1} \hat{h}_{ii}^*$$

در رابطه (۲۰) پارامتر $\sigma_{n_i}^2$ بیانگر واریانس نویز سیستم می‌باشد.

۴-۲- گام دوم: کاهش تداخل کاربران

چنانچه داده دریافتی را با در نظر گرفتن خطا در تخمین کانال به صورت رابطه (۱۵) در نظر بگیریم، با اعمال ضریب آشکارساز طراحی شده در گام اول مطابق رابطه (۲۰)، خطای آشکارسازی ناشی از خطای تخمین کانال بهبود می‌یابد و رابطه‌ای به صورت معادله (۲۱) حاصل می‌گردد.

$$w_{ii} y_i = w_{ii} \hat{h}_{ii} x_i + w_{ii} \Delta h_{ii} x_i + w_{ii} \tilde{n}_i \quad (21)$$

پارامتر \tilde{n}_i بیانگر مجموع نویز سیستم و تاثیر خطای تخمین کانال کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک می‌باشد.

با توجه به مباحث فوق، فرم کلی داده کاربر دور و نزدیک در حضور خطای تخمین کانال را می‌توان به صورت رابطه (۱۵) در نظر گرفت:

$$y_i = \hat{h}_{ii} x_i + \Delta h_{ii} x_i + \tilde{n}_i; (i=1,2) \quad (15)$$

۴- آشکارساز پیشنهادی

در این بخش آشکارساز پیشنهادی جهت بهبود عملکرد سیستم MIMO-NOMA زمانی که تخمین کانال دارای خطا باشد، ارائه می‌گردد.

با توجه به رابطه (۱۵)، خطا در آشکارسازی به دلیل وجود دو عبارت ایجاد می‌گردد: عبارت $\Delta h_{ii} x_i$ که ناشی از خطا در تخمین کانال می‌باشد و عبارت \tilde{n}_i که به سبب تداخل سیگنال کاربران در داده دریافتی یکدیگر و نویز سیستم رخ می‌دهد. جهت آشکارسازی سمبل‌ها در روش پیشنهادی، و به منظور کاهش نرخ محاسبات، تخمین سمبل‌های ارسالی در سه گام انجام می‌شود:

در گام اول با روشی که ارائه خواهد شد، اثر خطای تخمین کانال ناشی از عبارت $\Delta h_{ii} x_i$ رفع می‌گردد.

در گام دوم تاثیر عبارت \tilde{n}_i که به سبب تداخل سیگنال کاربران و نویز سیستم ایجاد شده، تقلیل می‌یابد.

در گام سوم با مقایسه المان به المان سیگنال حاصل از تخمین با منظومه فلکی مربوط به مدولاسیون سیستم، اطلاعات مربوط به هر کاربر بازیابی می‌گردد.

به منظور روشن شدن بحث، به توضیح هر یک از گام‌های فوق پرداخته می‌شود.

۴-۱- گام اول: کاهش خطای تخمین کانال

در گام اول اثر خطای تخمین کانال ناشی از عبارت $\Delta h_{ii} x_i$ رفع می‌گردد، بدین صورت که از تداخل سیگنال کاربر نزدیک در گیرنده کاربر دور و همچنین از اثر SIC ناقص ناشی از خطای تخمین کانال کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک صرف‌نظر می‌نماییم. به عبارت دیگر، پارامتر \tilde{n}_i تحت عنوان پارامتر n_i ، تنها ناشی از نویز سیستم در نظر می‌گیریم و در گام اول تنها اثر خطای تخمین کانال را تقلیل می‌دهیم. در گام اول آشکارسازی، تخمین خطای سیگنال ارسالی به صورت رابطه (۱۶) در نظر گرفته می‌شود:

$$\hat{x}_i = w_{ii} y_i \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_2 \\ \hat{x}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{22} & w_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2 \\ y_1 \end{bmatrix}$$

در رابطه (۱۶) پارامتر w_{11} بیانگر ضریب آشکارساز پیشنهادی برای داده کاربر نزدیک در گیرنده کاربر نزدیک و پارامتر w_{22} بیانگر ضریب آشکارساز پیشنهادی برای داده کاربر دور در گیرنده کاربر دور می‌باشد. همچنین پارامترهای \hat{x}_1 و \hat{x}_2 در رابطه (۱۶) به ترتیب بیانگر سیگنال

۴-۲-۲- ضریب آشکارسازی در گیرنده کاربر نزدیک

با توجه به آنکه در گیرنده کاربر نزدیک ابتدا اقدام به بازیابی داده کاربر دور جهت اعمال SIC می‌گردد، باید ضریب آشکارسازی برای بازیابی داده کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک محاسبه گردد. چنانچه میزان نویز سیستم و تداخل کاربر نزدیک در گیرنده کاربر نزدیک جهت بازیابی اطلاعات کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک مطابق رابطه (۲۸) در نظر گرفته شود، واریانس آن را می‌توان به صورت رابطه (۲۹) در نظر گرفت.

$$z_{1|U_1} = w_{21}(\tilde{n}_{21}) = w_{21}(h_{11}x_1 + n_1) \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{z_{1|U_1}}^2 &= \text{var}(z_{1|U_1}) = E[z_{1|U_1} z_{1|U_1}^H] \\ &= w_{21}^2 h_{11}^2 \sigma_{x_1}^2 + w_{21}^2 \sigma_{n_1}^2 \\ &= |w_{21}|^2 |h_{11}|^2 \sigma_{x_1}^2 + |w_{21}|^2 \sigma_{n_1}^2 \end{aligned} \quad (29)$$

با در نظر گرفتن واریانس تداخل مطابق رابطه (۲۹) ضریب آشکارساز پیشنهادی برای داده کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک به صورت رابطه (۳۰) حاصل می‌گردد.

$$w_{21_pro} = \left[|\hat{h}_{21}|^2 + (\sigma_{e_{21}}^2 + \sigma_{z_{1|U_1}}^2) \right]^{-1} \hat{h}_{21}^* \quad (30)$$

پس از اعمال ضریب آشکارساز پیشنهادی رابطه (۳۰) در داده دریافتی کاربر نزدیک، داده کاربر دور بازیابی و اعمال می‌گردد، سپس ضریب آشکارسازی برای بازیابی داده کاربر نزدیک طراحی می‌شود.

همان‌طور که در بخش قبل ذکر گردید، خطای تخمین کانال موجب SIC ناقص در گیرنده کاربر نزدیک می‌گردد. چنانچه مجموع نویز سیستم و تداخل ناشی از SIC ناقص را به صورت رابطه (۳۱) در نظر بگیریم، واریانس آن به صورت رابطه (۳۲) حاصل می‌گردد.

$$z_{2|U_1} = w_{11}(\tilde{n}_1) = w_{11}(\Delta h_{21}x_2 + n_1) \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{z_{2|U_1}}^2 &= \text{var}(z_{2|U_1}) = E[z_{2|U_1} z_{2|U_1}^H] \\ &= w_{11}^2 \sigma_{x_2}^2 E[\Delta h_{21} \Delta h_{21}^*] w_{11}^* + w_{11}^2 \sigma_{n_1}^2 w_{11}^* \\ &= |w_{11}|^2 \sigma_{x_2}^2 \sigma_{e_{21}}^2 + |w_{11}|^2 \sigma_{n_1}^2 \end{aligned} \quad (32)$$

با در نظر گرفتن واریانس نویز سیستم و خطای ناشی از تخمین داده کاربر دور در گیرنده کاربر نزدیک، مطابق رابطه (۳۲) ضریب آشکارساز پیشنهادی برای بازیابی داده کاربر نزدیک به صورت رابطه (۳۳) در نظر گرفته می‌شود.

$$w_{11_pro} = \left[|\hat{h}_{11}|^2 + (\sigma_{e_{11}}^2 + \sigma_{z_{2|U_1}}^2) \right]^{-1} \hat{h}_{11}^* \quad (33)$$

با توجه به محاسبات انجام شده و روابط ارائه گردیده، ضریب آشکارساز پیشنهادی را می‌توان به فرم رابطه (۳۴) نمایش داد.

$$w_{ji_pro} = \left[|\hat{h}_{ji}|^2 + (\sigma_{e_{ji}}^2 + \sigma_{z_{j|U_i}}^2) \right]^{-1} \hat{h}_{ji}^* \quad (34)$$

۴-۳- گام سوم: تخمین سمبل‌ها

در این مرحله ضریب آشکارساز پیشنهادی در داده دریافتی تاثیر داده می‌شود و مطابق رابطه (۳۵) به تخمینی از داده ارسالی دست می‌یابیم.

همان‌طور که در رابطه (۲۱) مشاهده می‌گردد پس از اعمال ضریب آشکارساز مرحله اول، تاثیر تداخل سیگنال کاربران و نویز سیستم که به صورت پارامتر \tilde{n}_i تعریف گردید باقی مانده و موجب خطا در آشکارسازی می‌شود.

چنانچه خطای ناشی از تداخل کاربران و نویز سیستم را به صورت رابطه (۲۲) در نظر بگیریم:

$$z_{j|U_i} = w_{ji} \tilde{n}_i ; i, j = 1, 2 \quad (22)$$

جهت کاستن اثر خطای فوق می‌توان، واریانس خطا را مطابق رابطه (۲۳) محاسبه و در رابطه آشکارساز پیشنهادی جایگذاری نمود [۱۱]:

$$\begin{aligned} \sigma_{z_{j|U_i}}^2 &= \text{var}(z_{j|U_i}) = E[z_{j|U_i} z_{j|U_i}^H] \\ &= E[(w_{ji} \tilde{n}_i)(w_{ji} \tilde{n}_i)^H] \\ &= w_{ji} w_{ji}^* E[(\tilde{n}_i)(\tilde{n}_i)^H] = |w_{ji}|^2 \sigma_{\tilde{n}_i}^2 \end{aligned} \quad (23)$$

با در نظر گرفتن واریانس خطای ناشی از تداخل و نویز سیستم مطابق رابطه (۲۳) و جایگذاری آن در ضریب آشکارساز پیشنهادی رابطه (۲۰)، در نهایت ضریب آشکارساز پیشنهادی به صورت رابطه (۲۴) حاصل می‌گردد.

$$w_{ii_pro} = \left[|\hat{h}_{ii}|^2 + (\sigma_{e_{ii}}^2 + \sigma_{z_{j|U_i}}^2) \right]^{-1} \hat{h}_{ii}^* \quad (24)$$

همان‌طور که در رابطه (۲۴) مشاهده می‌گردد، پارامتر $\sigma_{z_{j|U_i}}^2$ جهت لحاظ نمودن اثر \tilde{n}_i ، که در گیرنده کاربر دور به عنوان مجموع نویز سیستم و تداخل کاربر نزدیک و در گیرنده کاربر نزدیک مجموع نویز سیستم و اثر SIC ناقص می‌باشد، به رابطه اضافه شده است.

جهت مشخص نمودن مقدار واریانس $\sigma_{z_{j|U_i}}^2$ ، به محاسبه $\sigma_{z_{j|U_i}}^2$ برای گیرنده هر کاربر می‌پردازیم.

۴-۲-۱- ضریب آشکارسازی در گیرنده کاربر دور

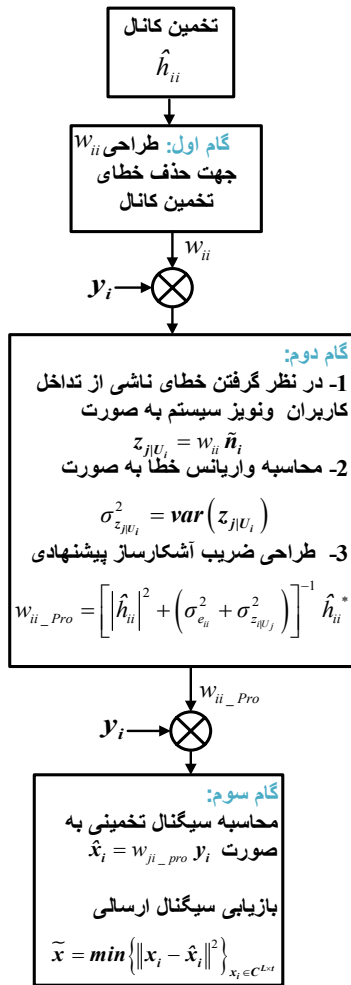
چنانچه میزان نویز و تداخل داده کاربر نزدیک در گیرنده کاربر دور را مطابق رابطه (۲۵) در نظر بگیریم، می‌توان واریانس $\sigma_{z_{1|U_2}}^2$ برای گیرنده کاربر دور جهت بازیابی داده خود را به صورت رابطه (۲۶) در نظر گرفت:

$$z_{1|U_2} = w_{22}(\tilde{n}_2) = w_{22}(h_{12}x_1 + n_2) \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{z_{1|U_2}}^2 &= \text{var}(z_{1|U_2}) = E[z_{1|U_2} z_{1|U_2}^H] \\ &= w_{22}^2 h_{12}^2 \sigma_{x_1}^2 w_{22}^* + w_{22}^2 \sigma_{n_2}^2 w_{22}^* \\ &= |w_{22}|^2 |h_{12}|^2 \sigma_{x_1}^2 + |w_{22}|^2 \sigma_{n_2}^2 \end{aligned} \quad (26)$$

و ضریب آشکارساز پیشنهادی برای کاربر دور به صورت رابطه (۲۷) حاصل می‌گردد.

$$w_{22_pro} = \left[|\hat{h}_{22}|^2 + (\sigma_{e_{22}}^2 + \sigma_{z_{1|U_2}}^2) \right]^{-1} \hat{h}_{22}^* \quad (27)$$



شکل (۴): فلوجارت عملکرد آشکارساز پیشنهادی

شایان ذکر است در شکل‌های (۵) و (۶) منظور از پارامتر σ_e^2 همان واریانس خطای تخمین کانال است که در روابط به صورت $\sigma_{e_i}^2$ نمایش داده شده و مقدار آن معلوم در نظر گرفته شده است. به طور مثال برای کاربر نزدیک با در نظر گرفتن واریانس خطای تخمین کانال به صورت $\sigma_e^2 = 0.1$ در $E_b/N_0 = 35$ احتمال خطا با در نظر گرفتن ضریب آشکار ساز پیشنهادی برابر 0.16 ، و برای آشکار ساز MMSE-SIC برابر 0.05 می‌باشد که بیانگر آن است با اعمال ضریب آشکار ساز پیشنهادی احتمال خطا در مقایسه با ضریب آشکار ساز MMSE-SIC برای کاربر نزدیک کاهش یافته است.

به طور مشابه مطابق شکل (۶) عملکرد بهتر سیستم با اعمال ضریب آشکار ساز پیشنهادی برای کاربر دور در مقایسه با ضریب آشکار ساز MMSE مشاهده می‌گردد. چنانچه با در نظر گرفتن مقدار واریانس خطای تخمین کانال به صورت $\sigma_e^2 = 0.1$ در $E_b/N_0 = 35$ احتمال خطا با در نظر گرفتن ضریب آشکار ساز پیشنهادی برابر 0.01 و برای آشکار ساز MMSE برابر 0.03 می‌باشد که بیانگر آن است، با اعمال ضریب آشکار ساز پیشنهادی احتمال خطا، در مقایسه با ضریب

$$\hat{x}_i = w_{ji_pro} y_i \quad (35)$$

برای آشکار سازی داده ارسالی مطابق منظومه مدولاسیون سیگنال ارسالی، تخمین داده ارسالی با توجه به رابطه (۳۵) به صورت رابطه (۳۶) انجام می‌گیرد:

$$\tilde{x} = \min_{x_i \in C^{L \times t}} \{ \|x_i - \hat{x}_i\|^2 \} \quad (36)$$

در رابطه (۳۶) پارامتر $C^{L \times t}$ بیانگر منظومه مدولاسیون و پارامتر L مشخص کننده طول فریم ارسالی و t تعداد آنتن فرستنده در حالت کلی بوده که در اینجا تعداد دو آنتن در نظر گرفته شده است [۲۰]. لازم به ذکر است که آشکار ساز MMSE، یک آشکار ساز خطی بوده که به عنوان یک آشکار ساز زیر بهینه مطرح می‌باشد. ضریب آشکار ساز MMSE به صورت رابطه (۳۷) تعریف می‌گردد [۲۰]:

$$w_{MMSE} = \left[\hat{h}_{ji}^2 + (\sigma_{n_i}^2) \right]^{-1} \hat{h}_{ji}^* \quad (37)$$

در رابطه (۳۷) پارامتر $\sigma_{n_i}^2$ بیانگر واریانس نویز سیستم می‌باشد. شایان ذکر است با توجه به استفاده از روش SIC در گیرنده کاربر نزدیک، ترکیب ضریب آشکار ساز MMSE مطابق رابطه (۳۷) و روش SIC را تحت عنوان "آشکار ساز MMSE-SIC" جهت بازیابی داده کاربر نزدیک در نظر می‌گیریم.

در شکل (۴) نحوه عملکرد آشکار ساز پیشنهادی در قالب فلوجارت نمایش داده شده است، شایان ذکر است که در شرایط تخمین بدون خطای کانال، عملکرد آشکار ساز پیشنهادی مشابه آشکار سازهای متداول است که در مراجع استفاده می‌شود، این مورد با صفر قرار دادن خطای تخمین کانال در روابط آشکار ساز پیشنهادی مشهود می‌باشد.

۵- نتایج حاصل از شبیه سازی

برای نشان دادن کارایی آشکار ساز پیشنهادی در شبیه سازی ها به مقایسه عملکرد آشکار ساز پیشنهادی و آشکار ساز MMSE برای کاربر دور و همچنین آشکار ساز MMSE-SIC برای کاربر نزدیک در حضور خطای تخمین کانال خواهیم پرداخت. جهت مشخص نمودن اثر خطای تخمین کانال بر عملکرد سیستم MIMO-NOMA و بررسی کارایی آشکار ساز پیشنهادی نتایج شبیه سازی برای کاربر دور و نزدیک در حضور خطای تخمین کانال به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) نمایش داده شده است. پارامترهای شبیه سازی مطابق جدول (۱) می‌باشد.

همان طور که در شبیه سازی ها مشاهده می‌گردد عملکرد کاربر نزدیک با در نظر گرفتن خطای تخمین کانال، در E_b/N_0 یکسان، به مراتب افت بیشتری نسبت به کاربر دور دارد. دلیل این امر، SIC ناقص ناشی از خطای تخمین کانال در گیرنده کاربر نزدیک می‌باشد. مطابق شکل (۵) آشکار ساز پیشنهادی عملکرد بهتری در مقایسه با آشکار ساز MMSE-SIC در حضور خطای تخمین کانال برای کاربر نزدیک دارد به گونه‌ای که، آشکار ساز پیشنهادی می‌تواند در E_b/N_0 یکسان، میزان خطا را برای کاربر نزدیک، در مقایسه با آشکار ساز MMSE-SIC، کاهش دهد.

خطای سیستم MIMO-NOMA می‌گردد. جهت کاهش اثر خطای تخمین کانال بر عملکرد سیستم MIMO-NOMA آشکار ساز جدیدی پیشنهاد گردید. شبیه سازی‌ها بیانگر آن است که در حضور خطای تخمین کانال آشکار ساز پیشنهادی احتمال خطای کمتری، در آشکار ساز MMSE برای کاربر دور و برای کاربر نزدیک و احتمال خطای سیستم MIMO-NOMA و بهبود عملکرد آن در حضور خطای تخمین کانال می‌گردد.

مراجع

[۱] سید محمد رضوی‌زاده، «نسل پنجم: تحول یا تکامل؟»، مجله گروه علمی- تحلیلی طیف برق دانشگاه علم و صنعت، شماره ۴۴، ۴۸-۵۱، مرداد ۱۳۹۳.

[2] F. Kara and H. Kaya, "BER performances of downlink and uplink NOMA in the presence of SIC errors over fading channels," IET Commun., vol.12, no.15, pp. 1834-1844, sep2018.

[3] J. S. Yeom, H. S. Jang, K. S. Ko, and B. C. Jung, "BER Performance of Uplink NOMA with Joint Maximum-Likelihood Detector," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.68, no.10, pp. 10 295-10 300, 2019

[4] T. Assaf, A. Al-Dweik, M. E. Moursi, and H. Zeineldin, "Exact BER Performance Analysis for Downlink NOMA Systems Over Nakagami- m Fading Channels," IEEE Access, vol. 7, pp. 134 539-134 555, 2019.

[5] L. Bariah, S. Muhaidat, and A. Al-Dweik, "Error Probability Analysis of Non-Orthogonal Multiple Access over Nakagami- m Fading Channels," IEEE Trans. Commun., vol. 67, no. 2, pp. 1586-1599, feb 2019.

[6] F. Kara and H. Kaya, "Error Probability Analysis of NOMA-Based Diamond Relaying Network," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 69, no. 2, pp. 2280-2285, feb 2020.

[7] F. Kara and H. Kaya, "Error performance of NOMA-based Cooperative Relaying Systems and Power Optimization for MBER," IEEE Comm. Lett., submitted

[8] J. Zheng, Q. Zhang, and J. Qin, "Average Block Error Rate of Downlink NOMA Short-Packet Communication Systems in Nakagami- m Fading Channels," IEEE Commun. Lett., vol. 23, no. 10, pp. 1712-1716, 2019.

[9] F. KARA, H. KAYA, "Error Probability Analysis of Non-Orthogonal Multiple Access with Channel Estimation Errors", Conference Paper, Dec 2020.

[10] Z. Wei, Y. Jinhong, D.W. Kwan Ng, M. ElKashlan and Z. Ding, "A Survey of Downlink Non-orthogonal Multiple Access for 5G Wireless Communication Networks", ZTE Commun, vol.32, no.6, pp.1065-1082, Jun2014.

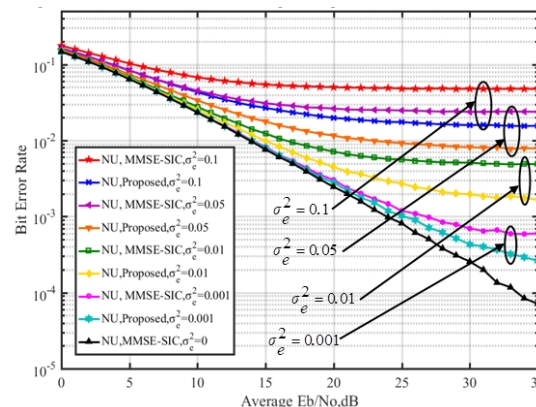
[11] X. Su, H. Yu, W. Kim, C. Choi, D. Choi, "Interference cancellation for Non-orthogonal multiple access used in future wireless mobile networks", EURASIP J. Wireless Commun. Netw, vol.2016, no.1, pp.231-243, Dec.2016.

[۱۲] مهرزاد بیغش، «آشکار سازی سمبل‌های ارسالی در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم MIMO در حضور خطای تخمین کانال»، چهاردهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، تهران-دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۵.

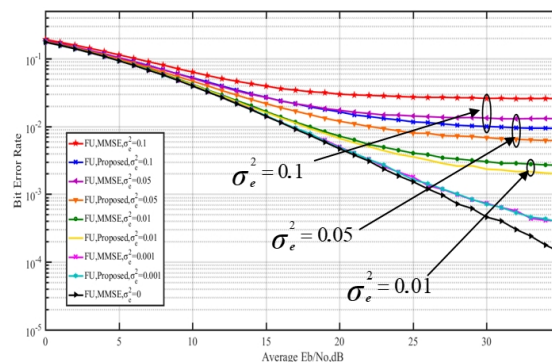
[13] Y. Tan, J. Zhou, and J. Qin, "Novel channel estimation for non-orthogonal multiple access systems", IEEE Signal Process. Lett, vol.23, no.12, pp.1781-1785, Dec.2016.

[14] Z. Yang, Z. Ding, P. Fan, G.K. Karagiannidis, "On the performance of non-orthogonal multiple access system with partial channel information", IEEE Trance.Commun, vol.64,no.2, pp.654-667, Feb2016

[15] N. Nonaka, A. Benjebbour, K. Higuchi, "System-Level Throughput of NOMA Using Intra-beam Superposition Coding



شکل (۵): مقایسه عملکرد آشکار ساز پیشنهادی و آشکار ساز MMSE-SIC در حضور خطای تخمین کانال در سیستم MIMO-NOMA برای کاربر نزدیک



شکل (۶): مقایسه عملکرد آشکار ساز پیشنهادی و آشکار ساز MMSE در حضور خطای تخمین کانال در سیستم MIMO-NOMA برای کاربر دور

جدول ۱: پارامترهای مربوط به شبیه سازی کاربر دور و نزدیک

پارامتر	مقدار
مدولاسیون	QPSK
کانال	رایلی
توان کاربر نزدیک	۰/۲
توان کاربر دور	۰/۸
تعداد آنتن فرستنده	۲
تعداد آنتن گیرنده	۱

آشکار ساز MMSE برای کاربر دور، کاهش یافته است. همچنین با مقایسه عملکرد آشکار ساز پیشنهادی برای کاربر دور و نزدیک با در نظر گرفتن خطاهای کمتر از ۰،۱ مشاهده می‌گردد که عملکرد آشکار ساز پیشنهادی برای کاربر نزدیک بهتر از کاربر دور می‌باشد.

۶- نتیجه

در این مقاله اثر خطای تخمین کانال برای کاربر دور و نزدیک در سیستم MIMO-NOMA بررسی گردید. مطابق مباحث مطرح شده و نتایج شبیه سازی، اثر خطای تخمین کانال موجب افزایش احتمال

- [18] Q. Zhang, Q. Li, J. Qin, "Robust beamforming for non-orthogonal multiple access systems in MISO channels," IEEE Trans. Veh. Technol, vol.65, no.12, pp.10231-10236, Dec.2016.
- [19] K.B. Petersen, M.S Pedersen, The matrix cookbook, nov2012,[online]Available:http://matrixcookbook.com
- [20] D. Tse, P. Viswanath, Fundamentals of wireless communication. Cambridge university press, 2005.
- and SIC in MIMO Downlink When Channel Estimation Error Exists", Proc.IEEE Int.Conf.onCommun.System,pp.202-206, Nov2014.
- [16] X. Su and H.F. Yu, "Non-orthogonal Multiple Access With Practical Interference Cancellation for MIMO System", IT Convergence Practice (INPRA), vol.3, no.4, pp.34-40, Dec. 2015.
- [17] W. Cai, C. Chen, L. Bai, Y. Jin, J. Choi, "User Selection and Power Allocation Schemes for Downlink NOMA Systems with Imperfect CSI", Proc.2016 IEEE VTC-FALL, IEEE 84th , pp.1-5, Sep.2016.

زیر نویس ها

¹² Near User

¹³ Far User

¹ Multiplex

² Non Orthogonal Multiple Access

³ Successive Interference Cancellation

⁴ Multiple Input Multiple Output

⁵ Minimum Mean Square Error

⁶ Single Input Single Output

⁷ Constrained Concave Convex Procedure

⁸ Maximum Likelihood

⁹ Signal to Noise Ratio

¹⁰ Fast Fading

¹¹ System-Level