

## آشکار سازی کور سیگنال های طیف گسترده دنباله مستقیم چند کار بره با کمک معیار های نظریه اطلاعات

فرید صمصامی خداداد<sup>۱\*</sup>، قوشه عابد هدتنی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری مخابرات، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مخابرات، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

( دریافت: ۹۲/۰۹/۱۱، پذیرش: ۹۳/۰۳/۰۵ )

### چکیده

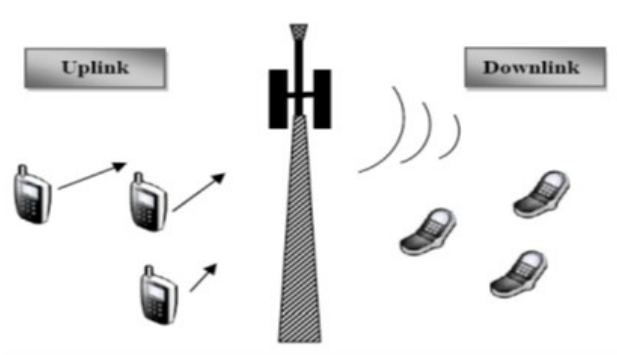
در این مقاله یک روش جدید برای آشکار سازی کور و همچنین شمارش تعداد کاربران فعال در سیستم طیف گسترده دنباله مستقیم چند کار بره غیر همزمان بر اساس تئوری اطلاعات پیشنهاد شده است. دو دسته مهم معیار های تئوری اطلاعاتی در جداسازی منابع به صورت کور مورد استفاده قرار می گیرند، معیار های MDL و AIC در روش پیشنهادی از هر دو معیار استفاده شده است. روش پیشنهادی برخلاف سایر روش های ارائه شده بجای آرایه ای از آنتن ها تنها به یک آنتن نیاز دارد، که این امر موجب کاهش هزینه و پیچیدگی سخت افزاری می شود. شبیه سازی ها و نتایج عددی متنوع صحت ادعای ما را در توانایی روش ارائه شده در آشکار سازی تعداد کاربران در سیگنال های همبسته و در سیگنال به نویز های ضعیف و محیط چند مسیره همراه با ازرمق افتادگی نشان می دهد.

**واژه های کلیدی:** تئوری اطلاعات، تجزیه مقادیر ویژه، روش زیرفضا، سیگنال طیف گسترده دنباله مستقیم چند کار بره، کانال چند مسیره با ازرمق افتادگی

### ۱. مقدمه

افزون بر مشکلاتی که در سیستم های چندکار بره نقطه به نقطه مانند تداخل بین سمبول ها و نویز جمع شونده وجود دارد، در سیستم های چندکار بره باید بر تداخل بین کاربر هایی که از کانال مشترک استفاده می کنند نیز غلبه کرد. روش متعارف مقابله با تداخل چندکار بره، هماهنگ کردن فرستنده هاست؛ به گونه ای که از تداخل اجتناب شود. به عنوان مثال، دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس و دسترسی چندگانه تقسیم زمان، قراردادهایی هستند که هر فرستنده را به باند (فرکانسی) منحصر به فردی و بازه منحصر به فرد یا زمان محدود می کنند. دسترسی چندگانه تقسیم کد یا به اختصار CDMA، شیوه ای است که به هر کاربر، کد گسترش منحصر به فردی را تخصیص می دهد. سیستم دسترسی چندگانه با تقسیم کد دنباله مستقیم از بهترین روش های ارتباط سیار

سیستم های مخابراتی که در آن ها کاربر های مختلف از یک کانال مشترک یا واسط انتقال مشترک استفاده می کنند، به عنوان چندکار بره یا سیستم های دسترسی چندگانه شناخته می شوند. شاید شبکه های بی سیم، بهترین مثال از این سیستم ها باشد. در این شبکه ها تعدادی کاربر متحرک با یک ایستگاه مرکزی از طریق یک واسط مشترک (هوا)، ارتباط برقرار می کنند. در سال های اخیر، سیستم های مشابهی به وجود آمده اند که بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. این سیستم ها اکنون بخش در حال گسترشی از زیرساخت مخابرات جهان را تشکیل می دهند. از این رو، نظریه مخابرات چندکار بره به حوزه فعالی در تحقیقات بدل شده است و روز به روز بر اهمیت آن افزوده می شود [۱].



شکل ۱. مدل ساده از مسیّر فروسو و فراسو در ارتباط بی‌سیم

Verdú در [۵] نشان داده است که سطح نهایی عملکرد قابل دستیابی در CDMA را نويز محیطی مشخص می‌کند و نه تداخل چندکاربره یا تداخل بین سمبولی. برای نیل به این سطح از کارایی، آشکارساز بهینه در سیستم‌های DS/CDMA به موارد زیر نیاز دارد تا بتواند تداخل چندکاربره را حذف کند [۶]:

(۱) کد گسترش طیف کاربر مطلوب

(۲) کد گسترش طیف سایر کاربران تداخل‌گر

(۳) تعداد کاربران فعال

(۴) زمان‌بندی ( لحظه شروع بیت و فاز حامل) کاربر مطلوب

(۵) زمان‌بندی (لحظه شروع بیت و فاز حامل) سایر کاربران تداخل‌گر

(۶) دامنه دریافتی سیگنال کاربران تداخل‌گر ( نسبت به دامنه دریافتی سیگنال کاربر مطلوب)

(۷) دنباله آموزشی برای هر کاربر

پایه‌سازی آشکارساز بهینه از لحاظ عملی تقریباً غیرممکن است، چرا که اطلاعات مورد نیاز هیچ‌گاه در سمت گیرنده موجود نیست؛ از این‌رو آشکارسازهای کور اهمیت پیدا می‌کنند. از دیدگاه مخابرات تجاری، آشکارسازهای چندکاربره کور معمولاً تنها به موارد یک و چهار نیاز دارند یعنی به کد گسترش طیف و زمان‌بندی کاربر مطلوب. از دیدگاه، دیگر آشکارساز (ی) را کور می‌نامند که به دنباله آموزشی نیاز نداشته باشد [۷].

در اغلب روش‌های آشکارسازی کور داده در سیستم‌های چند کاربره، دانستن پیش‌فرض‌هایی نظیر تعداد کاربران، طول کد و اطلاعات زمان‌بندی غیر قابل اجتناب است (شکل ۲). علاوه بر آن در آشکارسازی سیستم‌های طیف گسترده چند کاربره تجاری، دانستن

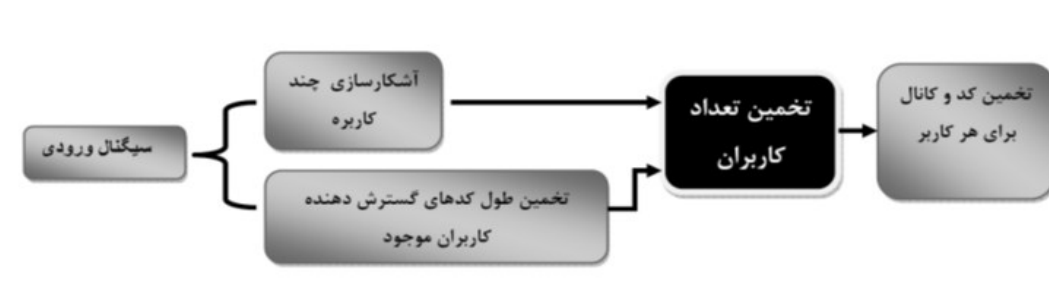
چندکاربره می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است. در سیستم دسترسی چندگانه با تقسیم کد دنباله مستقیم DS/CDMA دو مسیّر فروسو و فراسو را به‌طور جداگانه می‌توان مورد بررسی قرار داد.

مسیّر فروسو مسیری از ایستگاه مرکزی به طرف کاربرها است، این مسیّر را کانال مستقیم می‌نامیم. در این کانال، سیگنال‌های گسترش‌یافته مربوط به همه کاربرها به‌طور هم‌زمان به‌وسیله ایستگاه مرکزی ارسال می‌شوند زیرا همه سیگنال‌ها در یک مکان (ایستگاه مرکزی) تولید می‌شوند. همه سیگنال‌ها وارد یک کانال چندمسیره یکسان با افت انتشار و محوشدگی برابر خواهند شد.

مسیّر فراسو مسیری از کاربرها به ایستگاه مرکزی می‌باشد. این مسیّر را کانال معکوس می‌نامیم. در کانال معکوس، دستیابی به ارسال هم‌زمان کاربران مختلف بسیار مشکل است زیرا کاربرها از مکان‌های مختلفی اقدام به ارسال می‌نمایند. همچنین سیگنال‌های کاربران مختلف مسیره‌های متفاوتی را می‌پیمایند و در نتیجه، دارای افت‌های انتشار مختلف و محوشوندگی مستقل خواهند بود که سبب ایجاد سطح سیگنال‌های متفاوت در ایستگاه خواهد شد. یک مدل ساده از مسیّر فروسو و فراسو با سه کاربر در شکل ۱ نشان داده شده است. به دلیل تفاوتی که مسئله از نظر هم‌زمانی در این دو مسیّر دارد، معمولاً روش‌های پردازش سیگنال متفاوتی برای هر کدام از آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

آشکارسازی داده‌ها در یک سیستم دسترسی چندگانه با تقسیم کد (DS/CDMA) را می‌توان از جهات مختلف مورد بررسی قرار داد. یکی از این جهات، آشکارسازی چندکاربره معمولی می‌باشد. در این مسئله فرض می‌شود گیرنده مرکزی از کد گسترش طیف همه کاربران فعال مطلع است. به این ترتیب، گیرنده به منظور آشکارسازی موثر داده‌های کاربران مختلف قادر خواهد بود اثر تداخلی سیگنال آن‌ها را حذف کرده و باعث کاهش خطا در آشکارسازی داده‌ها شود.

در مسئله دیگر، موسوم به آشکارسازی چند کاربره کور، فرض می‌شود گیرنده تنها از کد گسترش طیف کاربر خودی مطلع است. بنابراین به منظور آشکارسازی موثر داده‌های کاربر خودی، گیرنده مجبور است به صورت کور اثر تداخل سیگنال کاربرهای دیگر را از روی سیگنال کاربر خودی حذف کند. باید توجه شود که آشکارسازی کور خود در جاتی دارد که حد نهایی به مسئله شنود ختم می‌شود، یعنی جایی که گیرنده غیر مخاطب هیچگونه اطلاعاتی از سیگنال دریافتی ندارد [۳] و [۴].



شکل ۲. نمودار قالبی سیستم شود چند کاربره طیف گسترده دنباله مستقیم

آشکارسازی تعداد کاربران در سیستم‌های طیف گسترده دنباله مستقیم چند کاربره به کمک پردازش ارائه نمود. مسئله مهمی که در ارائه روش‌های آشکارسازی وجود دارد نگاه عملی و کاربردی به مدل کانال مخابراتی است که اکثر روش‌ها به این مسئله توجه نکردند و الگوریتم‌های ارائه‌شده برای کانال‌های AWGN<sup>۲</sup> و بدون در نظر گرفتن پدیده چندمسیرگی و محوشوندگی می‌باشد.

### ۱.۲. نوآوری‌های مقاله

در این مقاله نویسندگان روشی نوین و کارآمد جهت آشکارسازی تعداد کاربران فعال در سیستم‌های طیف گسترده چندکاربره دنباله مستقیم در کانال مخابراتی چند مسیره همراه با محوشوندگی ارائه نمودند. روش ارائه‌شده برپایه تفکیک زیرفضای نویز و سیگنال می‌باشد و برای این تفکیک به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد و جذاب معیارهای تئوری اطلاعاتی از آنها استفاده شده است. روش ارائه‌شده به گونه‌ای است که برای سناریوی غیر همزمان نیز کارایی خود را حفظ می‌کند. علاوه بر آن، به جای استفاده از آرایه‌ای از آنتن از تک آنتن و با کمک دایورسیتی کد گسترش‌دهنده به حل مسئله تخمین تعداد کاربران فعال می‌پردازد.

### ۱.۳. آنچه در ادامه آمده است

در بخش ۲، مدل سیستم مشخص می‌شود. در بخش ۳ پس از معرفی معیارهای تئوری اطلاعاتی MDL<sup>۳</sup> و AIC<sup>۴</sup> مسئله تفکیک زیرفضای سیگنال و نویز مطرح خواهد شد و پس از آن به کمک این معیارها بدون نیاز به سطح آستانه ضمنی تفکیک زیر فضای سیگنال و نویز صورت می‌گیرد. چرا که روش‌هایی که از یک سطح آستانه تجربی جهت تفکیک زیر فضای سیگنال و نویز استفاده می‌کنند.

با تغییر شرایط محیطی نیاز به محاسبات و ملاحظات جدیدی برای سطح آستانه دارند که این امر پایداری و دقت الگوریتم را به

تعداد کاربران فعال کمک شایانی به افزایش کارایی سیستم آشکارسازی می‌کند، چرا که با شمارش تعداد کاربران فعال و شناسایی آن‌ها می‌توان اثر آن‌ها را از مجموع سیگنال‌های رسیده به گیرنده حذف و غلبه بر تداخل چندکاربره را تسهیل نمود [۸] و [۹]. از دیگر کاربردهای آشکارسازی تعداد کاربران می‌توان به مسئله جهت‌یابی اشاره کرد. در بسیاری از روش‌های جهت‌یابی به تخمین صحیحی از تعداد سیگنال‌های وارد شونده به آرایه آنتن نیاز است؛ چرا که اگر جهت سیگنال مشخص باشد با جهت‌دهی بیم آنتن می‌توان اثر مزاحم سیگنال‌های دیگر را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد و یا به طور معکوس، اثر تخریبی موثری بر روی سیگنال فرستنده غیرمخاطب داشت. از این‌رو هدف این مقاله ارائه یک روش نوین و کارآمد جهت تخمین تعداد کاربران فعال در یک سیستم مخابرات طیف گسترده چندکاربره می‌باشد [۱۰] و [۱۱].

### ۱.۱. مروری بر روش‌های شمارش کاربران و تحقیقات

#### پیشین

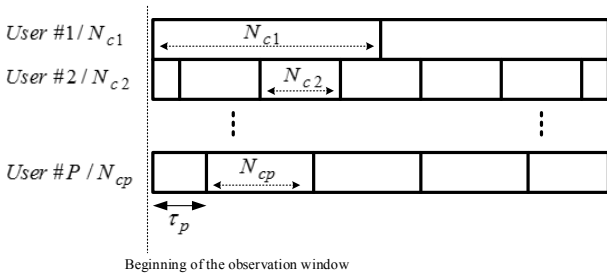
در زمینه آشکارسازی تعداد کاربران فعال در سیگنال‌های طیف گسترده دنباله مستقیم چند کاربره با توجه به اهمیت موضوع تحقیقات کمی صورت گرفته است. تحقیقات در این زمینه به چند کلاس مختلف تبدیل می‌شود، دسته اول معیارهای تئوری اطلاعاتی مانند MDL و AIC می‌باشند که اولین بار توسط Wax و Kailath در مقالات [۱۲] و [۱۳] ارائه شدند. از دیگر معیارهای جدید در این زمینه، معیار PDL<sup>۱</sup> می‌باشد که توسط Valaee در [۱۴] ارائه گردید. Wax و Kailath تنها سیگنال‌های باند باریک را مورد تحقیق قرار دادند و توجهی به سیگنال‌های باند وسیع مانند CDMA نداشتند. علاوه بر آن، روش آنها و همچنین اکثر روش‌های آشکارسازی و شمارش تعداد کاربران از آرایه‌ای از آنتن‌ها جهت پردازش سیگنال ورودی استفاده می‌کنند. که این امر علاوه بر افزایش هزینه ساخت‌فزاری برای گیرنده غیر مخاطب، کاربر را با مشکل افزایش حجم گیرنده مواجه می‌کند. در مقاله [۱۵] نویسنده روشی جهت

2. Additive white Gaussian noise channel

3. Minimum description length

4. Akaike information criterion

1. predictive description length



شکل ۳. سیگنال کاربرهای سیستم در کانال تک مسیره

$$y(n) = \sum_{i=0}^{P-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_i(k) c_i(n - kN_c - \tau_i) + w(n) \quad (2)$$

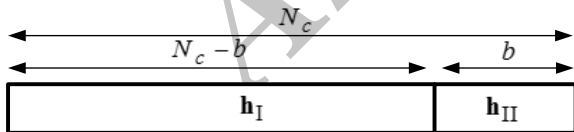
با تقسیم داده‌های دریافتی در پنجره‌های زمانی بدون اشتراک به طول یک نمونه از داده‌های قرار گرفته در یک پنجره را به صورت  $\mathbf{y}(n) = [y(n), \dots, y(n - (N_c - 1))]^T$  خواهیم داشت. با جمع‌آوری داده‌های پنجره متوالی در یک ماتریس  $N \times N_c$  به صورت زیر داریم:

$$Y = \begin{pmatrix} y(n) & y(n - N_c) & \dots & y(n - (N-1)N_c) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y(n - N_c - 1) & y(n - 2N_c - 1) & \dots & y(n - NN_c - 1) \end{pmatrix} \quad (3)$$

که به صورت خلاصه خواهیم داشت:

$$Y = (\mathbf{y}(n), \mathbf{y}(n - N_c), \dots, \mathbf{y}(n - (N-1)N_c)) \quad (4)$$

از آنجایی که طول پنجره برابر طول یک سمبول می‌باشد، در هر پنجره همواره قسمت انتهایی از کد گسترش طیف به طول  $N_c - b_i$  چیپ و به دنبال آن، قسمت ابتدایی کد گسترش طیف به طول  $b_i$  چیپ قرار خواهد داشت، که تأخیر پنجره نسبت به کد تکرار شونده کاربر نام در سیگنال ارسالی می‌باشد.



شکل ۴: داده‌های قرار گرفته کاربر نام در یک پنجره نوعی برای کانال تک مسیره

بنابراین ماتریس  $\mathbf{Y}$  را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$\mathbf{Y} = \sum_{i=0}^{P-1} (\mathbf{c}_I^i + \mathbf{c}_{II}^i) \mathbf{d}_i^T \quad (5)$$

$c_I^i$  بردار شامل  $N_c - b_i$  چیپ آخر کد گسترش طیف کاربر نام به همراه  $b_i$  چیپ صفر و  $c_{II}^i$  بردار شامل  $N_c - b_i$  چیپ صفر به همراه  $b_i$  چیپ ابتدایی کد گسترش طیف کاربر نام می‌باشند. که در

شدت کاهش می‌دهد. روش پیشنهادی شرح و بسط داده خواهد شد. در بخش ۴ با شبیه‌سازی و آنالیز عددی، صحت الگوریتم مطرحه تأیید خواهد شد و در پایان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از کار ارائه شده بیان خواهد شد.

## ۲. مدل سیستم طیف گسترده دنباله مستقیم چند کاربره

در این مقاله جهت شمارش تعداد کاربران و بهره‌گیری از دایورسیته کد به جای دایورسیته فضایی مدلی جدید ارائه می‌شود، ابتدا مدل را برای کانال تک مسیره پیاده‌سازی خواهیم کرد. با تغییرات جزئی، این مدل برای کانال‌های چند مسیره نیز قابل استفاده خواهد بود.

### ۱.۲. مدل ارائه‌شده جهت سیگنال تک‌مسیره

یک سیستم چند کاربره با  $p$  کاربر را در نظر می‌گیریم. در خط‌مشی فروسو، سیگنال این کاربر در ایستگاه پایه با هم جمع شده و سپس ارسال می‌شود. با فرض هم‌زمان بودن کاربران با یکدیگر، سیگنال ارسالی از ایستگاه پایه پس از عبور از کانال AWGN برابر است با:

$$y(n) = \sum_{j=0}^{i-1} \sum_{i=0}^{P_j-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,i}(k) c_{j,i}(n - kN_{c_j} - \tau_{j,i}) + w(n) \quad (1)$$

که در آن،  $d_{j,i}(k)$  داده‌های کاربر نام از گروه  $j$ ام با کدگسترش طیف  $c_{j,i}(n)$  به طول  $N_{c_j}$  و تأخیر انتشار  $\tau_{j,i}$  می‌باشد.  $w(n)$  نیز نویز گوسی جمع شونده با میانگین صفر و واریانس  $\sigma_n^2$  می‌باشد. به منظور تخمین کدهای گسترش طیف و داده‌های کاربرهای گروه‌های مختلف، از روش حذف پی‌درپی تداخل استفاده می‌شود. یعنی پس از عملیات تخمین کدهای گسترش طیف و داده‌های کاربرهای گروه نام با بهره‌برداری  $N_{c_i}$  سهم سیگنال آن‌ها را از سیگنال موجود حذف و کار را با کاربرهای گروه نام با بهره‌برداری  $N_{c_j}$  ادامه می‌دهند. بنابراین از این پس به دلیل بررسی مسئله آشکارسازی داده‌های هر گروه از کاربرها به صورت جداگانه، از اندیس  $j$  در رابطه (۱) صرف‌نظر می‌کنیم و برای کاربرهای گروه نام (که دارای طول کد گسترش طیف  $P = P_j$  می‌باشند) داریم (شکل ۳) [۱۶].

- 1- Jobs
- 2- knowledge ,skills and abilities (KSA)
- 3- backup

و ماتریس همبستگی را نیز به صورت زیر خواهیم نوشت:

$$\mathcal{R}_y = \sigma_n^2 \left( \rho v_1^0 v_{\Pi}^{0h} + \rho \sum_{i=1}^{P-1} (1 - \alpha_i) v_1^i v_{\Pi}^{ih} + \alpha_i v_1^i v_{\Pi}^{ih} \right) + I \quad (10)$$

### ۳. روش ارائه‌شده جهت آشکارسازی تعداد کاربران فعال

#### ۱.۳. تخمین تعداد کاربران به کمک تفکیک زیرفضای سیگنال و نویز

با فرض استقلال منابع سیگنال و نویز و مستقل بودن نمونه‌های نویز از هم و با توجه به این که نویز با میانگین صفر  $E\{W(n)\} = 0$  فرض می‌شود، آمارگان مرتبه دوم داده‌های دریافتی از طریق محاسبه ماتریس خودهمبستگی  $Y(n)$  به صورت زیر خواهد بود [۱۷]:

$$\mathcal{R}_Y = E\{Y(n)Y(n)^H\} = C E\{D(n)D(n)^H\} C^H + \mathcal{R}_w \quad (11)$$

که در رابطه فوق،  $E(\cdot)$  بیانگر امید ریاضی یا میان‌گیری آماری می‌باشد. با توجه به این که ماتریس همبستگی متقارن است، می‌توان آن را به فرم تجزیه‌پذیر به مقادیر ویژه نوشت:

$$\mathcal{R}_Y = \bar{U} \Lambda \bar{U}^H \quad (12)$$

در رابطه فوق،  $U = [\bar{U}_1, \bar{U}_2]$  که  $\bar{U}_1 = [\bar{C}_1, \dots, \bar{C}_p]$  و  $\bar{U}_2 = [\bar{V}_{p+1}, \dots, \bar{V}_{N_c-p}]$  به ترتیب فضای سیگنال<sup>۱</sup> (یا فضای کد) و فضای نویز<sup>۲</sup> را تشکیل می‌دهند و  $\Lambda$  یک ماتریس  $N_c \times N_c$  قطری است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Lambda = \left[ \sum^2 + \sigma_w^2 \mathbf{I} \right] \quad (13)$$

که  $\mathcal{R}_w = \sigma_w^2 \mathbf{I}$  و  $E\{D(n)D(n)^H\} = \sum$  یک ماتریس قطری است و دارای  $N_c$  مرتبه است. این ماتریس  $p$  مقدار ویژه غیر صفر و  $N_c - p$  مقدار ویژه کوچک نزدیک به صفر و مساوی دارد. طبق یک قرارداد معمول، مقادیر ویژه  $\mathcal{R}_Y$  را می‌توان به فرم نزولی زیر نوشت:

$$|\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq \dots \geq |\lambda_p| > \lambda_{p+1} = \dots = \lambda_{N_c} \cong \sigma_n^2 \quad (14)$$

آن  $b_i$  تأخیر کد گسترش طیف کاربر  $i$ ام نسبت به ابتدای پنجره می‌باشد. با فرض صفر بودن میانگین و ناهمبسته بودن سمبول‌های داده، ماتریس همبستگی (کوواریانس) بردار  $\mathbf{Y}$  را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$\mathcal{R}_Y = E\{\mathbf{Y}\mathbf{Y}^H\} = \sum_{i=0}^{P-1} E\{|d_i|^2\} c_1 c_1^H + \sum_{i=0}^{P-1} E\{|d_i|^2\} c_{\Pi} c_{\Pi}^H + \sigma_n^2 I \quad (6)$$

همچنین فرض می‌شود  $\sigma_w^2 = E\{|d_i|^2\}$  و  $|c_i|^2 = c_e^2$  که در آن  $c_i$  بردار کد گسترش طیف کاربر  $i$ ام به طول  $N_c$  می‌باشد، بردارهای نرمالیزه  $c_1, c_{\Pi}$  به ترتیب به صورت  $v_1 = c_1/|c_1|^2, v_{\Pi} = c_{\Pi}/|c_{\Pi}|^2$  تعریف می‌شوند.

باتوجه به تقسیم یکنواخت انرژی در طول کد گسترش طیف،  $|c_1|^2 = ((N_c - b_i)/N_c) c_e^2$  و  $|c_{\Pi}^i|^2 = (b_i/N_c) c_e^2$  خواهند بود. باتوجه به روابط فوق ماتریس همبستگی زیر را خواهیم داشت [۳۶]:

$$\mathcal{R}_Y = \sigma_n^2 \left( \rho \sum_{i=0}^{P-1} (1 - \alpha_i) v_1^i v_{\Pi}^{ih} + \alpha_i v_1^i v_{\Pi}^{ih} \right) + I \quad (7)$$

که در آن،  $\rho$  ضریب سیگنال به نویز و تداخل نسبت به یک کاربر می‌باشد.  $\alpha_i = b_i/N_c$  نیز تأخیر نرمالیزه شده کاربر  $i$ ام می‌باشد. نتیجه مهمی که از رابطه (۷) می‌توان گرفت این است که ماتریس همبستگی داده‌های دریافتی  $\mathcal{R}_Y$  دارای  $2p$  مقدار ویژه متمایز می‌باشد (یعنی دو برابر تعداد کاربران). به عبارتی، هنگامی که پنجره پردازشی با کاربران (یا کاربران با یکدیگر) هم‌زمان نباشند، مقادیر ویژه مربوط به سیگنال، دو برابر تعداد کاربران خواهد بود. از این‌رو یک سیستم DS-CDMA ناهم‌زمان با کاربر را می‌توان با یک سیستم DS-CDMA هم‌زمان با کاربر مدل کرد. به طور کلی مقادیر ویژه  $\mathcal{R}_Y$  به صورت زیر می‌باشد [۱۶]:

$$\begin{cases} \sigma_i^1 = \sigma_n^2 (\rho(1 - \alpha_i) + 1), & i = 0, \dots, P-1 \\ \sigma_i^{\Pi} = \sigma_n^2 (\rho \alpha_i + 1), & i = 0, \dots, P-1 \\ \sigma_i = \sigma_n^2, & i = 2P, \dots, N_c \end{cases} \quad (8)$$

در اینجا فرض می‌کنیم ابتدای پنجره به نحوی قرار گیرد که مثلاً تأخیر کاربر اول نسبت به پنجره صفر شود ( $\alpha_0 = 0$ ). در این صورت مقادیر ویژه ماتریس  $\mathcal{R}_Y$  به صورت زیر خواهند بود [۱۶]:

$$\begin{cases} \sigma_0^1 = \sigma_n^2 (\rho + 1) \\ \sigma_i^1 = \sigma_n^2 (\rho(1 - \alpha_i) + 1), & i = 1, \dots, P-1 \\ \sigma_i^{\Pi} = \sigma_n^2 (\rho \alpha_i + 1), & i = 1, \dots, P-1 \\ \sigma_i = \sigma_n^2, & i = 2P-1, \dots, N_c \end{cases} \quad (9)$$

1. Code space or signal space  
2. Null space

AIC و MDL موارد خاصی از (۱۶) هستند و توسط مینیمم‌سازی اندازه AIC و MDL [۲۰] حاصل می‌شوند. تخمین‌گرهای AIC و MDL را در زیر می‌بینید:

$$\hat{K}_{AIC} = \arg_k \min(k) = \arg_k \min \left\{ -2 \log \left( f_y \left( Y \mid \hat{\theta}^{(k)} \right) \right) + 2 \left| \Theta_k \right| \right\} \quad (17)$$

$$\hat{K}_{MDL} = \arg_k \min(k) = \arg_k \min \left\{ -10 \log \left( f_y \left( Y \mid \hat{\theta}^{(k)} \right) \right) + 0.5 \left| \Theta_k \right| \log(N) \right\} \quad (18)$$

به طوری که  $|\Theta_k|$  تعداد پارامترهای آزاد در  $\Theta_k$  است. از آنجایی که در اغلب مسائل تعداد پارامترهای آزاد واقعی کمتر از تعداد پارامترهایی است که در نگاه اول مشاهده می‌شود،  $|\Theta_k|$  مبین حداقل تعداد پارامترهایی است که به طور کامل  $f_y(Y|\theta^{(k)})$  را توصیف کند. توجه کنید که در تخمین‌گرهای MDL و AIC تنها هنگامی تابع آمارگان مرتبه دوم هستند که  $f_y(Y|\theta^{(k)})$  دارای توزیع گوسی باشد. بنابراین برای استخراج روابط موجود، فرض‌های زیر الزامی است:

- سیگنال منبع  $\{d(k)\}$  سفید، مختلط، ایستاد، فرآیند تصادفی ارگادیک<sup>۲</sup> گوسی، با میانگین صفر و دارای ماتریس همبستگی مثبت معین است.
- بردار نویز  $w(n)$ ، سفید، مختلط، ایستاد، فرآیند تصادفی ارگادیک گوسی، مستقل از سیگنال با میانگین صفر و دارای ماتریس همبستگی  $\sigma_n^2 I$  است.
- همه المان‌های ماتریس کانولوشن کانال (در اینجا ماتریس نگاشت دهنده)  $C$ ، نامعلوم فرض شده است، تنها محدودیت  $C$ ، مرتبه کامل بودن آن است.
- $N_c > P$  باید باشد.

در بخش بعدی نحوه به دست آمدن این معیارها، برای مسئله به‌دست آوردن تعداد کاربران، شرح داده می‌شود.

### ۳.۳. تخمین تعداد کاربران فعال سیگنال طیف گسترده

#### چند کاربره با کمک معیارهای نظریه اطلاعات

برای تشخیص تعداد کاربران باید خانواده‌ای از چگالی‌ها را تعریف کرده و محاسباتمان را بر روی آن انجام دهیم. از خانواده ماتریس

که در رابطه فوق،  $\lambda_i$ ها از ۱ تا  $p$  مقادیر ویژه سیگنال و باقیمانده مقادیر ویژه نویز می‌باشند (کوچکترین مقادیر ویژه) و  $\sigma_n^2$  واریانس نویز می‌باشد. به این ترتیب از روی تعداد کوچکترین مقادیر ویژه با اندازه مساوی، که تعداد آن‌ها  $N_c - P$  است، می‌توان تعداد کاربران را تشخیص داد.

همان‌طور که می‌دانیم، عملاً امکان محاسبه امید ریاضی داده‌های دریافتی وجود ندارد اما در شرایطی که اغلب در عمل برقرار است، می‌توان از میانگین‌گیری زمانی به جای میانگین‌گیری آماری استفاده کرد. بنابراین آمارگان مرتبه دوم داده‌های دریافتی به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\mathcal{R}_Y = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \mathcal{Y}^H \mathcal{Y} \quad (15)$$

در نتیجه اگر ماتریس همبستگی داده‌های دریافتی با یک نرخ نمونه برداری محدود تخمین زده شود، تمام مقادیر ویژه‌ای که از این ماتریس حاصل می‌شود با احتمال یک متفاوت خواهند بود و در نتیجه به راحتی نمی‌توان از برابری مقدار  $N_c - P$  ویژه برای به‌دست آوردن تعداد کاربران استفاده کرد. به دلیل وابسته بودن الگوریتم به سطح آستانه تجربی، کارایی الگوریتم در SNRهای پایین و همچنین در محیط‌های چند مسیره بسیار ضعیف خواهد بود. در این مقاله ما از معیارهای تئوری اطلاعات برای رفع این مشکل استفاده می‌کنیم، در نتیجه، ابتدا آشنایی مختصری با این معیارها پیدا می‌کنیم. سپس روش کار را برای آشکارسازی تعداد کاربران شرح خواهیم داد.

### ۲.۳. خط مشی MDL و AIC

خط مشی تئوری اطلاعات، خط مشی عمومی برای انتخاب مدلی مناسب از خانواده‌ای از مدل‌های ممکن است که حداکثر تناسب را با داده داشته باشد [۱۸ و ۱۹]. به بیان دیگر، با یک خانواده پارامتری از توزیع‌های تصادفی داده‌شده  $(f_y(y|\theta^{(k)}))$  و  $\theta^{(k)} \in \Theta_k$  برای مقادیر مختلف  $k$  در ضوابط تئوری اطلاعاتی، به‌صورت زیر انتخاب می‌شود:

$$k = \arg \min \left( -L \left( \theta^{(k)} \right) + P(k) \right) \quad (16)$$

که در آن،  $L(\theta^{(k)}) = \log f_y(y|\theta^{(k)})$  تابع شباهت لگاریتمی<sup>۱</sup> مشاهدات  $y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]$  است.  $P(k)$  تابع جریمه عمومی مربوط به خانواده  $k$ م و  $\hat{\theta}^{(k)} = \arg \min_{\theta^{(k)} \in \Theta_k} f_y(y|\theta^{(k)})$  می‌باشد. از  $\theta^{(k)}$  معمولاً به عنوان تخمین حداکثر شباهت (ML) پارامترهای نامعلوم با فرض  $k$ امین خانواده توزیع‌ها یاد می‌شود. تخمین‌گرهای

1. Log-likelihood function

2. Ergodic

$$\hat{\lambda}_i = L_i \quad i = 1, \dots, k$$

$$\hat{\sigma}_s^2 = \frac{1}{N_c - k} \sum_{i=k+1}^{N_c} L_i \quad (24)$$

$$\hat{V}_i = C_i \quad i = 1, \dots, k$$

به ترتیب مقادیر ویژه  $L_1 > L_2 > \dots > L_{N_c}$  و  $C_1, \dots, C_{N_c}$  به ترتیب مقادیر ویژه ماتریس نمونه  $\hat{\mathcal{R}}$  می‌باشند. با جایگذاری جواب تخمین‌گرها یعنی (۲۴) در (۲۳) و با ساده‌سازی تابع ماکزیمم شباهت را به دست می‌آوریم:

$$L(\hat{\theta}) = \log \left( \frac{\prod_{i=k+1}^{N_c} L_i^{1/N_c - k}}{\frac{1}{N_c - k} \sum_{i=k+1}^{N_c} L_i} \right)^{(N_c - k)NN_c} \quad (25)$$

توجه کنید که عبارت داخل پرانتز نسبت میانگین هندسی به میانگین حسابی کوچکترین  $(N_c - k)$  مقدار ویژه است.

اکنون می‌توانیم معیارهای AIC و MDL را جهت تشخیص تعداد زیر فضای سیگنال بیان کنیم:

$$AIC(k) = -2 \log \left( \frac{\prod_{i=k+1}^{N_c} L_i^{1/N_c - k}}{\frac{1}{N_c - k} \sum_{i=k+1}^{N_c} L_i} \right)^{(N_c - k)NN_c} + 2k(2N_c - k) \quad (26)$$

$$MDL(k) = -\log \left( \frac{\prod_{i=k+1}^{N_c} L_i^{1/N_c - k}}{\frac{1}{N_c - k} \sum_{i=k+1}^{N_c} L_i} \right)^{(N_c - k)NN_c} + 0.5k(2N_c - k) \log NN_c \quad (27)$$

از آنجا که در این حالت، کانال تک‌مسیره و همچنین پنجره پردازشی با کاربران هم‌زمان فرض شده است،  $\hat{K}_{MDL}$  و  $\hat{K}_{AIC}$  (که تعداد زیر فضای سیگنال را نشان می‌دهند) مقدار مینیمم AIC(k) و MDL(k) بوده و برابر با تعداد کاربران هستند. در صورتی که در اکثر موارد (به احتمال  $(N_c - 1)/N_c$ ) پنجره پردازشی با کاربران هم‌زمان نمی‌باشد. در این حالت طبق استدلالی که در بخش (۲.۱) نمودیم تعداد مقادیر ویژه سیگنال دوبرابر حالت هم‌زمان خواهد بود.

برای حل این مشکل می‌توان یکبار الگوریتم را بر روی داده دریافتی و بار دیگر بر روی شیفت‌یافته آن اعمال کرد. در این صورت به احتمال واحد در یکی از دو حالت پنجره پردازشی با سیگنال کاربران ناهم‌زمان خواهد بود. نهایتاً طبق آنچه که گفتیم تعداد

همبستگی که در (۱۶) آمده است شروع می‌کنیم و آن را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$\mathcal{R}^{(k)} = \Psi^{(k)} + \sigma_n^2 I \quad (19)$$

که  $\Psi^{(k)}$  یک ماتریس نیمه مثبت با مرتبه  $k$  بوده و  $\sigma_n^2$  واریانس نویز است که کمیتی نامعلوم می‌باشد و  $k \in \{0, 1, \dots, N_c - 1\}$  تمام مقادیر ممکنه که می‌تواند تعداد کاربران، داشته باشند را دربر می‌گیرد. که در آن  $C E[D(t).D^H(t)]C^H = \Psi^{(k)}$  می‌باشد. با کمک نمایش طیفی معروف از تئوری جبر خطی [۱۵]  $\mathcal{R}^{(k)}$  را به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$\mathcal{R}^{(k)} = \sum_{i=1}^k (\lambda_i - \sigma_s^2) V_i V_i^H + \sigma_n^2 I \quad (20)$$

که  $\lambda_1, \dots, \lambda_k$  و  $V_1, \dots, V_k$  به ترتیب مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس  $\mathcal{R}^{(k)}$  می‌باشند. بردار پارامتر  $\theta^{(k)}$  را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\theta^{(k)^T} = (\lambda_1, \dots, \lambda_k, \sigma_s^2, V_1^T, \dots, V_k^T) \quad (21)$$

حال با کمک بردار پارامتر و مدلی که از تئوری اطلاعات داریم، شروع به حل مسئله آشکارسازی تعداد زیر فضای سیگنال (درابن حالت تعداد کاربران) می‌کنیم. از آنجا که مشاهدات را به صورت بردار گوسی، ایستان و مستقل از هم و با میانگین صفر در نظر می‌گیریم، چگالی احتمال شرطی توأم مشاهدات به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۱]:

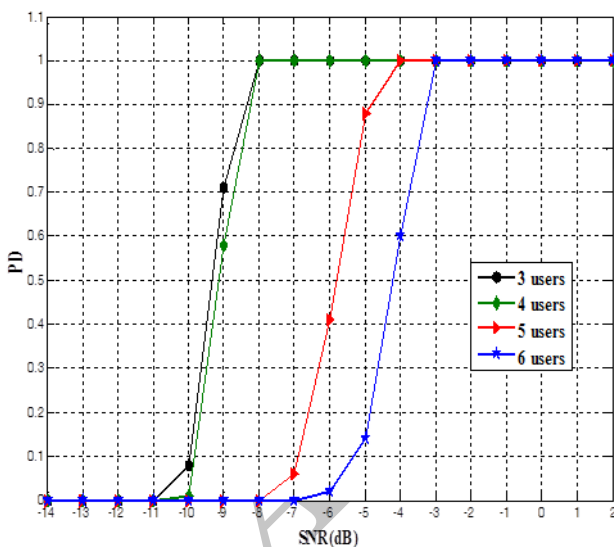
$$f(Y(t_1), \dots, Y(t_N) | \theta^{(k)}) = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\pi^p \det R^{(k)}} \exp \left( -Y^H(t_i) [\mathcal{R}^{(k)}]^{-1} Y(t_i) \right) \quad (22)$$

با لگاریتم‌گیری و حذف جملاتی که به پارامتر  $\theta^{(k)}$  مربوط نیستند، تابع شباهت لگاریتمی که آن را  $L(\theta^{(k)})$  نامیدیم به دست می‌آید.

$$L(\theta^{(k)}) = -N \log \det \mathcal{R}^{(k)} - \text{tr} \left[ \mathcal{R}^{(k)} \right]^{-1} \hat{\mathcal{R}} \quad (23)$$

که در آن  $\hat{\mathcal{R}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y(t_i) Y(t_i)^H$  ماتریس کوواریانس<sup>۱</sup> تجربی می‌باشد. پیشینه نمودن رابطه (۲۳) مسئله تخمین را حل نموده که جواب آن به صورت زیر به دست می‌آید:

تعداد کاربران در نظر گرفته‌ایم. در اینجا فرض شده است سیستم سیگنالی با مدولاسیون BPSK را روی کانال ارسال و از کد گسترش طیف گلد استفاده می‌کند. کانال چندمسیره نیز کانالی با پاسخ ضربه محدود می‌باشد. به‌علاوه، تأخیر کانال نیز تصادفی و با توزیع یکنواخت روی یک سمبول داده کاربر در نظر گرفته شده است. نتایج، میانگین خروجی ۱۰۰ تکرار مستقل از هم آزمایش می‌باشد؛ همچنین تعداد مشاهدات برابر ۱۰۰۰ سمبول داده است. ابتدا نتایج شبیه‌سازی‌ها برای یک سیستم DS-CDMA با طول کد گسترش طیف ۳۱ برای تمام کاربران و کانال تک‌مسیره AWGN نسبت به تغییرات SNR برای تعداد کاربران مختلف آورده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش تعداد کاربران، کارایی تخمین‌گر کاهش می‌یابد و نتایج شبیه‌سازی نیز همین امر را اثبات می‌کند، چرا که با افزایش تعداد کاربران تداخل بین کاربران زیاد می‌شود. از دیدگاه تحلیل مقادیر ویژه نیز با افزایش تعداد کاربران تعداد مقادیر ویژه سیگنال افزایش یافته و تفکیک آن از مقادیر ویژه نویز سخت‌تر خواهد شد (شکل ۵).



شکل ۵. احتمال تشخیص درست تعداد کاربران فعال نسبت به تغییرات SNR به‌ازای تعداد کاربران ۳، ۴، ۵ و ۶ در کانال AWGN با طول کد گسترش دهنده  $31(N_c)$ .

در ادامه در شکل ۶ کارایی الگوریتم پیشنهادی را با تغییر بهره پردازش یا طول گسترش‌دهنده مورد بررسی و آنالیز قرار می‌دهیم. همان‌طور که مشاهده می‌شود و طبق انتظار با افزایش بهره پردازش کارایی الگوریتم بهبود چشمگیری می‌یابد. در شکل ۷ نتایج شبیه‌سازی‌ها برای یک سیستم DS-CDMA چهارکاربره با طول کد گسترش طیف ۳۱ برای تمام کاربران و کانال‌های مخابراتی AWGN، Rayleigh و Specular آورده شده است. در انتها الگوریتم آشکارسازی

کاربران برابر نصف بیشینه تعداد مقادیر ویژه سیگنال در دو حالت ذکر شده است.

### ۴.۳. تخمین تعداد کاربران فعال سیگنال طیف گسترده چند کاربره با کمک معیاهای تئوری اطلاعاتی در محیط چند مسیره

با توجه به این که سیگنال کاربران پس از برخورد به موانع گوناگون و با تأخیرهای مختلف به گیرنده می‌رسند، مدل کانال واقعی میان ایستگاه پایه و گیرنده باید چند مسیره انتخاب گردد. برای مدل چندمسیره رابطه (۱) را به‌صورت زیر اصلاح می‌کنیم:

$$y_c(t) = \sum_{i=1}^p \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{i_n} \cdot g_i(t - nT_s) + W(t) \quad (28)$$

که در رابطه فوق  $g_i(t)$  کانال معادل، حاصل ترکیب کانولوشنی کد گسترش طیف کاربر  $i$ ام و کانال چند مسیره به صورت رابطه  $g_i(t) = C_i(t) * h(t)$  می‌باشد. اگر کانال چند مسیره بین ایستگاه پایه و گیرنده با طول پاسخ ضربه محدود  $L_m$  باشد، طول پاسخ ضربه کانال، معادل  $g(t)$  بر حسب چپ برابر  $L = L_m + N_c - 1$  خواهد بود. در این حالت ماتریس نگاشت دهنده  $C$ ، به  $g$  تبدیل می‌شود:

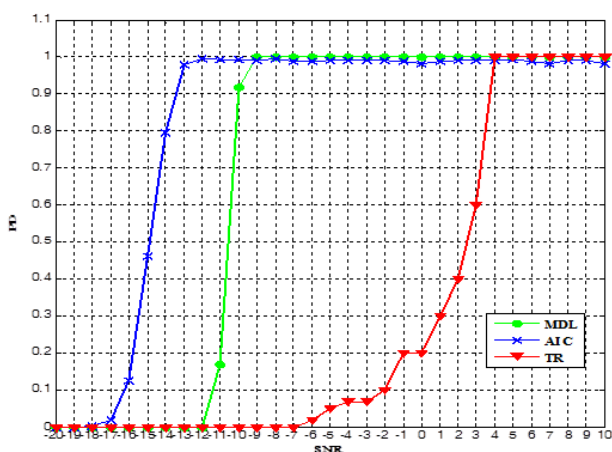
$$G = \begin{pmatrix} g_1(0) & \dots & g_p(0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_1(N_c) & \dots & g_p(N_c) \end{pmatrix}_{N_c \times p} \quad (29)$$

در این حالت به‌دلیل پدیده چند مسیرگی، تعداد مقادیر ویژه مربوط به سیگنال در ماتریس خودهمبستگی داده‌های دریافتی ( $R_Y$ ) دیگر برابر تعداد کاربران نیست. در اینجا فرض می‌کنیم که مجموع تأخیر ناشی از چند مسیرگی و ناهم‌زمانی پنجره پردازشی با کاربران، از طول کد گسترش طیف ( $N_c$ ) تجاوز نکند. در این شرایط طبق آنچه که در بخش (۱،۲) گفتیم، تعداد کاربران نصف تعداد مقادیر ویژه خواهد بود، در صورتی که مجموع این تأخیر از  $N_c$  تجاوز کند، نیاز به تخمینی از طول پاسخ ضربه کانال معادل یا به عبارتی مرتبه کانال می‌باشد.

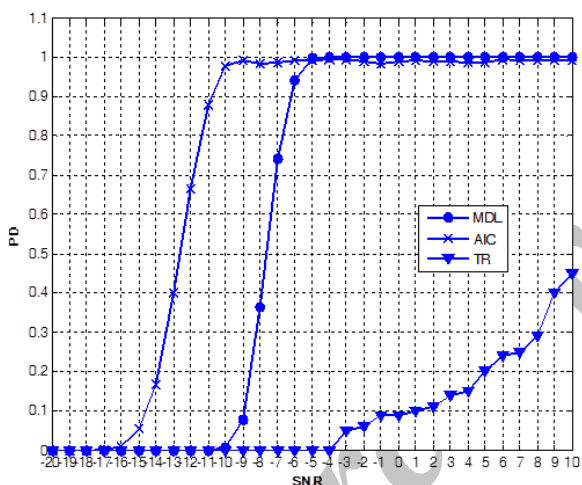
### ۴. شبیه‌سازی

در این بخش به کمک شبیه‌سازی به بررسی کارایی روش بیان شده می‌پردازیم. معیار بررسی کارایی را احتمال تشخیص صحیح





شکل ۸. مقایسه کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی تئوری اطلاعاتی MDL و AIC الگوریتم مبتنی بر سطح آستانه (TR) در کانال مخابراتی AWGN با طول کد ۱۲۷ و ۳ کاربر.

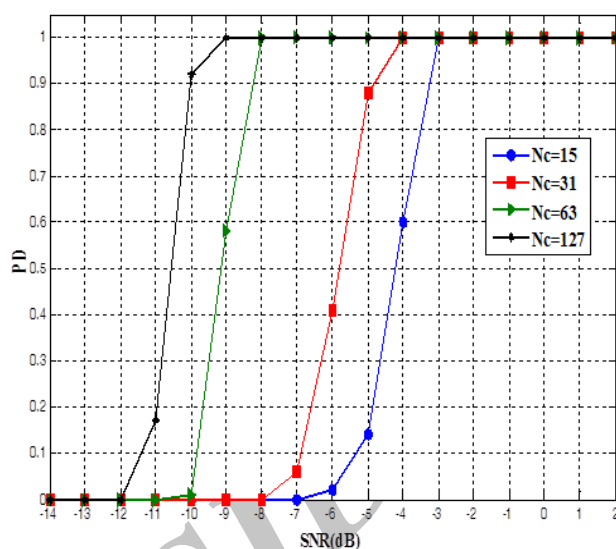


شکل ۹. مقایسه کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی تئوری اطلاعاتی MDL و AIC الگوریتم مبتنی بر سطح آستانه (TR) در کانال مخابراتی چند مسیره با طول کد ۱۲۷ و ۳ کاربر.

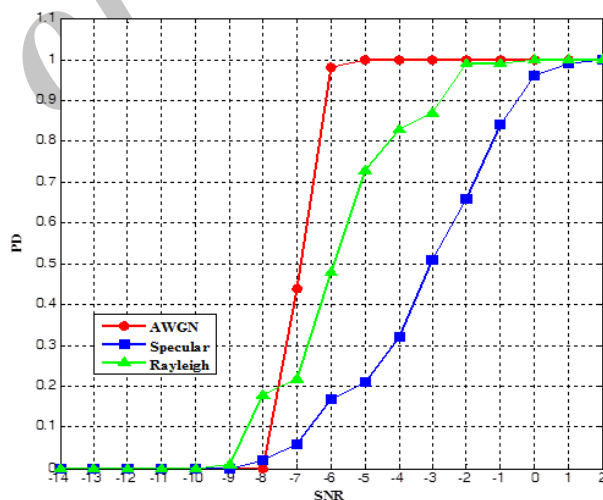
کردیم برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به آن دارد. الگوریتم (TR) در کانال چند مسیره کارایی خود را از دست می‌دهد؛ در حالی که روش ارائه‌شده همچنان قابل اعتماد است. در شکل ۹ سناریوی قبلی برای کانال چند مسیره تکرار شده است که دلالت بر کارایی الگوریتم پیشنهادی در محیط‌های عملی همراه با پدیده چند مسیره‌گی دارد.

#### ۴.۱ الگوریتم Mendel و Dogan

در این روش ابتدا نسبت  $\frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}$  را محاسبه کرده و سپس در هر مرحله  $\bar{p}$  را یک واحد افزایش می‌دهیم، در اولین مرحله‌ای



شکل ۶. احتمال تشخیص درست تعداد کاربران فعال نسبت به تغییرات به ازای طول کدهای ( $N_c$ ) ۱۵، ۳۱، ۶۳ و ۱۲۷ در SNR با ۵ کاربر. AWGN کانال



شکل ۷. احتمال تشخیص درست تعداد کاربران فعال نسبت به تغییرات SNR به ازای طول کد ۳۱، ۶۳ و ۱۲۷ در کانال‌های مخابراتی AWGN، Rayleigh و Specular با ۴ کاربر.

و شمارش تعداد کاربران را با الگوریتم ارائه‌شده Mendel و Dogan [۲۲] که آن را با (TR) نمایش داده‌ایم مقایسه می‌کنیم (شکل ۸). روش ارائه‌شده در [۲۲] تعداد کاربران را به کمک جستجوی پیاپی بر پایه آزمون فرض محاسبه می‌کند.

همان‌گونه که در شکل ۸ قابل مشاهده است، الگوریتم مبتنی بر سطح آستانه (TR) در کانال تک‌مسیره و در SNR های پایین، قادر به تشخیص صحیح تعداد کاربران نمی‌باشد و الگوریتمی که ارائه

- tions Applications Conference (SIU), 2012 20th , vol., no., pp.1,4, 18-20 April 2012.
- [4] Marvin K. Simon, Jim K. Omura, Robert A. Scholtz, Barry K. Levitt Spread Spectrum Communication Handbook, McGraw-Hill, 2002
- [5] S.verdú, "Minimum probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple Access Channels," IEEE Trans. On Information Theory, Vol. 32, pp.85-96, Jan 1986.
- [6] M.Honig, U. Madhow, and S.verdú, "Blind Adaptive Multiuser Detection," IEEE Trans. On Information Theory, vol.41, no. 4, pp 944-960, 1995.
- [7] Jiang Zhang; Hang Zhang; Zhifu Cui, "Dual-antenna-based blind joint hostile jamming cancellation and multiuser detection for uplink of asynchronous direct-sequence code-division multiple access systems," Communications, IET , vol.7, no.10, pp.911,921, July 2, 2013.
- [8] Ricieri Castro e Souza, A.; Mussi, A.M.; de Oliveira Ribeiro, R.; Abrao, T., "Local Search Detection in Multiple Access DS/CDMA Networks," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)* , vol.10, no.2, pp.1482,1488, March, 2012.
- [9] X. Liu, K. Chan Teh and E. Gunawan, "Interference Identification and Blind Multiuser Detection for Asynchronous CDMA Systems With Multipath Fading," IEEE Trans. On Communication, vol. 55, no. 12, Dec 2007.
- [10] A. A. EL-Sallam, "Model Selection-Based Blind Adaptive Channel Estimation Algorithms for Parsimonious Receivers in CDMA Systems," ISSNIP 2008.
- [11] D. Angelosante, E. Biglieri, and M. Lops, "Multiuser Detection in a Dynamic Environment-Part II: Joint User Identification and Parameter Estimation," IEEE Trans. On Information Theory, vol. 55, no. 5, May 2009.
- [12] M. Wax and I. Ziskind, "Detection of the number of coherent signals by the MDL principle," IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 37, pp. 1190-1196, Aug. 1989.
- [13] M. Wax, "Detection and localization of multiple sources via the stochastic signals model," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 39, pp. 2450-2455, Nov. 1991.
- [14] S. Valaee and P. Kabal, "An information theoretic approach to source enumeration in array signal processing," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 52, No. 5, May. 2004.
- [15] S. Valaee and S. Shahbazpanahi, "Detecting the Number of Signals in Wireless DS-CDMA Networks," IEEE Trans. Communication, vol. 56, No. 7, pp. 1189-1197, July 2008.
- [16] C. N. Nsiala, R. Gautier, G. Burel "Parallel blind multiuser synchronization and sequence Estimation in multi-rate CDMA transmission", Proc. 40th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove., 2006.

که نسبت،  $\sum_{i=1}^P \lambda_i / \sum_{i=1}^N \lambda_i$  از مقدار سطح آستانه‌ای که مقدار آن به صورت تجربی تعیین می‌شود تجاوز کند، استفاده شده در این مرحله را به عنوان تعداد کاربران تشخیص داده و جستجو را متوقف می‌کنند.

## ۵. نتیجه‌گیری

تخمین تعداد کاربران یکی از مهم‌ترین پارامترها در طراحی گیرنده‌های طیف گسترده بوده و دانستن آن موجب کاهش بار محاسباتی و سخت‌افزاری گیرنده می‌شود. از سوی دیگر، در اکثر روش‌های جهت‌یابی دانستن تعداد کاربران فعال سیستم، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد [۲۳]. در این مقاله، یک روش جدید و کارآمد جهت شمارش تعداد کاربران فعال در سیستم‌های طیف گسترده دنباله مستقیم چندکاربره در سناریوی غیر هم‌زمان ارائه شد، همان‌طور که اشاره کردیم اکثر روش‌های ذکر شده، از تجزیه مقادیر ویژه سیگنال و نویز استفاده می‌کنند یا به عبارتی، به تفکیک زیرفضای سیگنال و نویز می‌پردازند. از این رو می‌توان گفت اکثر روش‌های ذکر شده بر پایه زیرفضا می‌باشند. همچنین اکثر روش‌ها از یک آرایه آنتنی جهت شمارش تعداد کاربران استفاده می‌کنند. اشکال عمده این روش‌ها، هزینه بالا و پیچیدگی‌های سخت‌افزاری جهت پیاده‌سازی است. از میان روش‌های ذکر شده معیار تئوری اطلاعات را به دلیل عدم نیاز به سطح آستانه و قابلیت پیاده‌سازی توسط یک آنتن، جهت تفکیک زیرفضای سیگنال و نویز برگزیدیم. به کمک معیارهای تئوری اطلاعاتی MDL و AIC و با استفاده از یک آنتن، روشی کارآمد جهت آشکارسازی تعداد کاربران در کانال چندمسیره ارائه گردید. روش ارائه‌شده جهت تشخیص تعداد کاربران فعال سیستم چندکاربره دنباله مستقیم تنها به طول کد گسترش‌دهنده طیف و یک آنتن نیاز دارد. همچنین در آن فرض شده است که مجموع تأخیر ناشی در عبور از کانال چندمسیره و ناهم‌زمانی پنجره پردازشی با سیگنال کاربران از طول کد گسترش طیف بیشتر نباشد.

## ۶. مراجع

- [1] J. G. Proakis; Digital Communication; Third Edition, Mac-Graw Hill; 1995.
- [2] M. K. Tsatsanis and G. B. Giannakis, "Multirate filter banks for code division multiple access systems," Proc. Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing, Detroit, MI, May 8-12, vol. 2, pp. 1484-1487, 1995.
- [3] Zeybek, M.; Ertug, O., "Minimum BER multi-user detection for time-varying frequency selective fading DS-CDMA channels," Signal Processing and Communica-

- [21] C-M. Cho and P.M. Djuric, "Detection and localization of multiple sources via Bayesian and predictive densities," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 4, pp. 57-60, Apr. 1993.
- [22] M. C. Dogan and J. M. Mendel, "Single sensor detection and classification of multiple sources by higher order spectra," Proc. IEEE, vol. 140, pp. 350-355 Dec. 1993.
- [23] Ilngakoon, Chathura; Yahampath, Pradeepa, "On joint source-channel decoding and interference cancellation in CDMA-based large-scale wireless sensor networks," *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2013 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.4569,4573, 26-31 May, 2013.
- [17] Lerch, A. "An Introduction to Audio Content Analysis: Applications in Signal Processing and Music Informatics", Wiley-IEEE Press eBook Chapters, Copyright Year: 2012.
- [18] L. C. Zhao, P. R. Krishnaiah, and Z. D. Bai, "On detection of the number of signals in the presence of white noise," J. Multivariate Analysis, vol. 20, no. 1, pp. 1-20, Jan. 1986.
- [19] Marzaki, M.H.; Tajjudin, M.; Adnan, R.; Rahiman, M.H.F.; Jalil, M.H.A., "Comparison of different model structure selection using R2, MDL and AIC criterion," Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), 2013 IEEE 4th, vol., no., pp.80,85, 19-20 Aug. 2013.
- [20] M. Wax, and T. Kailath, "Detection of signals by information theoretic criteria," IEEE Trans. ASSP, vol. 33, pp. 387-392, Apr. 1985.

Archive of SID