نشریه علمی "پدافند الکترونیکی و سایبری"
سال هشتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۶۱-۵۳

علمی– پژوهشی

استفاده از آنتروپی تعمیم یافته جهت تخمین کور طول دنباله‌های گسترش دهنده در سامانه‌های طیف گسترده چند کاربره

فرید صمصامی خداداد[1*]، شکیبا جانعلی‌زاده[2]
۱- استادیار، ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فناوری‌های نوین آمل

(دریافت: ۹۸/۰۵/۲۶، پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲)

چکیده

در این مقاله، یک روش نوین جهت آشکارسازی سیگنال طیف گسترده چند کاربره دنباله مستقیم و همچنین تخمین کور طول دنباله‌های گسترش دهنده طیف در سامانه‌های طیف گسترده چند کاربره دنباله مستقیم با حالت‌های مختلف کد کوتاه و بلند ارائه شده است. کد گسترش دهنده اساس ساختار سامانه‌های طیف گسترده می‌باشد که عمدتاً به صورت فرایندی شبه تصادفی مدل می‌گردد و شناسایی و تخمین طول آن مهم‌ترین بخش از ساختار یک گیرنده طیف گسترده می‌باشد که در این مقاله به این مهم پرداخته شده است. اساس روش پیشنهادی تخمین طول کد، یادگیری تئوری اطلاعات (ITL) می‌باشد که در مدل‌سازی فرایندهای تصادفی دو دسته مهم آن که عبارتند از معیار آنتروپی و معیار اطلاعات متقابل، مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش پیشنهادی از نوع آنتروپی تعمیم یافته می‌باشد و به دلیل اینکه شامل انتگرال توان PDF است، در تخمین ساده تر از آنتروپی شانون می‌باشد و در ابعاد بالا عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد. همچنین روش پیشنهاد شده بی نیاز از اطلاعات اولیه بوده به همین دلیل در طراحی گیرنده‌های کور مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی‌ها و نتایج عددی متنوع صحت ادعای ما را در توانایی روش ارائه شده در تخمین تناوب دنباله گسترش دهنده در دو حالت کد کوتاه و بلند نشان می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: سامانه طیف گسترده دنباله مستقیم چند کاربره، کد بلند، تئوری اطلاعات، آنتروپی تعمیم یافته، معیار اطلاعات متقابل

۱- مقدمه

در سامانه‌های مخابراتی که تعدادی کاربر از پهنای باند یک کانال یا واسط انتقال عمومی به‌طور مشترک استفاده می‌کنند، به‌عنوان سامانه‌های دسترسی چندگانه یا چند کاربره مطرح می‌شوند [۱]. بنابراین در این نوع سامانه‌ها علاوه بر مشکلاتی چون تداخل بین سمبل‌ها و نویز جمع شونده، با تداخل ناشی از سایر کاربران نیز مواجه هستید که یکی از روش‌های متداول برای غلبه بر این مشکل، هماهنگ کردن فرستنده‌ها به گونه‌ایست که از تداخل اجتناب شود. دسترسی چندگانه با تقسیم کد یا به اختصار CDMA، که بر مبنای سامانه‌های طیف گسترده دنباله مستقیم[2] تعریف می‌شوند، شیوه‌ای است که در آن به هر کاربر، کد گسترش منحصر به فردی تخصیص می‌یابد که می‌تواند در هر زمان و در هر باند فرکانسی ارسال انجام دهند. کدهای شبه تصادفی مورد استفاده در سامانه‌های طیف گسترده را می‌توان به انواع مختلفی تقسیم بندی نمود. در کدهای با طول کوتاه، کد گسترش دهنده با دوره تناوب برابر طول سمبل تکرار می‌شود. در کدهای با طول بلند، کد گسترش دهنده با تناوبی برابر با طول تعداد بسیار زیادی از سمبل‌ها تکرار می‌شود [۲]. دنباله‌های شبه تصادفی علاه بر سامانه‌های طیف گسترده در بسیاری از زمینه‌های دیگر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند، که می‌توان به رمز نگاری، سامانه‌های موقعیت یاب جهانی و آزمایش مدارات دیجیتالی اشاره نمود.

سامانه‌های طیف گسترده دنباله مستقیم به‌عنوان یکی از روش‌های مخابرات امن شناخته می‌شوند زیرا با ضرب مستقیم سیگنال باند پایه در دنباله گسترش دهنده که یک دنباله باینری شبه تصادفی با نرخ بالاتر از نرخ اطلاعات می‌باشد، به یک دنباله باند وسیع تبدیل می‌شود و منجر به کمتر شدن چگالی طیف توان شده و سیگنال مورد نظر برای سایر گیرنده‌ها به صورت نویز عمل کرده و در نتیجه به سادگی توسط سایر گیرنده‌ها قابل دریافت نیست. در نتیجه تخمین کدهای گسترش طیف و آشکارسازی داده‌ها در یک سامانه طیف گسترده چند کاربره با توجه به قابلیت‌های ذکر شده، امری مهم می‌باشد. به عبارت دیگر گیرنده در ابتدا باید طول کد و سپس دنباله شبه تصادفی را تخمین بزند و بعد از آن با استفاده از الگوریتم‌های آشکارسازی

* رایانامه نویسنده مسئول: samsami.farid@gmail.com
[1] Direct Sequence Spread Spectrum

اقدام به آشکارسازی سیگنال دریافتی کند.

آشکارسازی داده‌ها در یک سامانه دسترسی چندگانه با تقسیم کد (DS\CDMA) از جهات مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد که یکی از این جهات آشکارسازی چند کاربره با فرض دانستن کدها می‌باشد. بدین صورت که گیرنده مرکزی از کد گسترش طیف همه کاربران فعال مطلع است و به‌منظور آشکارسازی مؤثر داده‌های کاربران مختلف قادر خواهد بود اثر تداخلی سیگنال آن‌ها را حذف کند. در مسئله دیگر که به آشکارسازی چند کاربره کور موسوم است، فرض می‌شود گیرنده تنها از کد گسترش طیف کاربر خودی مطلع است و به‌منظور آشکارسازی مؤثر داده‌های کاربر خودی مجبور است به صورت کور اثر تداخل سیگنال کاربرهای دیگر را از روی سیگنال کاربر خودی حذف کند[۵-۳].

Verdu در مرجع [۷] نشان داده است که سطح نهایی عملکرد قابل دستیابی در CDMA را نویز محیطی مشخص می‌کند و نه تداخل چند کاربره یا تداخل بین سمبلی. بنابراین آشکارساز بهینه در سامانه‌های DS\CDMA به موارد زیر نیاز دارد تا بتواند تداخل چند کاربره را حذف کند [۸]:

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؛

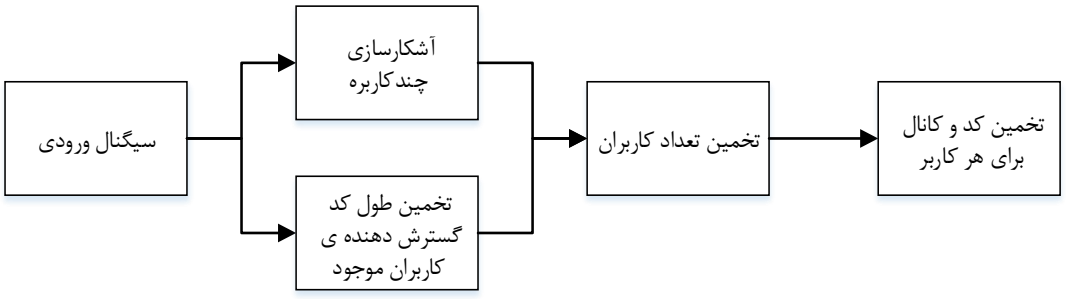
۵) زمان‌بندی (لحظه شروع بیت و فاز حامل) سایر کاربران تداخل‌گر؛

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

۷) دنباله آموزشی برای هر کاربر.

از آنجایی که اطلاعات مورد نیاز هیچ‌گاه در سمت گیرنده موجود نیست از این رو آشکارسازهای کور مطرح می‌شود که از دیدگاه مخابرات تجاری معمولاً تنها به موارد یک و چهار نیاز دارند یعنی به کد گسترش طیف و زمان‌بندی کاربر مطلوب. از دیدگاه دیگر آشکارسازی را کور می‌نامند که به دنباله آموزشی نیاز نداشته باشد [۹-۶].

در اغلب روش‌های آشکارسازی کور داده در سامانه‌های چند کاربره، دانستن پیش فرض‌هایی نظیر تعداد کاربران، طول کد و اطلاعات زمان‌بندی غیر قابل اجتناب است (شکل (۱)). با این وجود در کاربردهای نظامی عملاً گیرنده هیچ اطلاعی از طول کد ندارد و باید بتواند با استفاده از خواص سیگنال دریافتی طول کد را تخمین بزند. طبق مطالعات به‌دست آمده، روش‌های تخمین طول کد بر اساس خواص تابع همبستگی [۷-۳] یا خواص تابع چگالی طیف توان سیگنال‌های DS-CDMA [۱۰-۸] تقسیم بندی می‌شوند. هدف این مقاله ارائه یک روش نوین و کارآمد جهت تخمین طول دنباله‌های گسترش دهنده در در یک سامانه مخابرات طیف گسترده چند کاربره با استفاده از معیار آنتروپی می‌باشد که قابل تعمیم به تابع همبستگی می‌باشد.



شکل (۱): نمودار قالبی سامانه شنود چند کاربره طیف گسترده دنباله مستقیم

در زمینه تخمین طول دنباله‌های گسترش دهنده در سامانه‌های طیف گسترده دنباله مستقیم چند کاربره با توجه به اهمیت موضوع تحقیقات کمکی صورت گرفته است. Burel و Bouder روش مبتنی بر تحلیل ویژه را برای تخمین دنباله شبه تصادفی پیشنهاد داده‌اند که در سیگنال به نویزهای پایین خوب عمل می‌کند، با این وجود مناسب برای دنباله‌های با طول بلند نمی باشد [۳] . در مرجع [۱۱] این روش برای دو کاربر گسترش یافت. در مقاله [۱۲] یک الگوریتم بر اساس قطعه‌بندی[1] ارائه شده است. سیگنال دریافتی به k پنجره تقسیم می‌شود، که ماتریس کوواریانس هر کدام از این قطعه‌ها قابل بازیابی می‌باشند سپس کد گسترش دهنده را می‌توان با الحاق این قطعه‌ها به یکدیگر تولید کرد. در مرجع [۱۳] ایده‌ی ترکیب الگوریتم

[1] Segmentation

MUSIC[1] و قطعه بندی کدهای گسترش دهنده به قطعه‌های زمانی کوتاه می‌باشد که هر کدام از قطعه‌ها با روش ترتیبی تخمین زده می‌شوند. در ابتدا سیگنال نمونه برداری شده دریافتی به k مجموعه از پنجره تقسیم بندی می‌شود. که هر کدام متناظر با قطعه‌های کدهای گسترش زمان کوتاه می‌باشند. سپس با انجام طرح تخمین مبتنی بر زیر قطعه قطعه‌سازی، قطعات زمان کوتاه تمام کدهای گسترش دهنده کاربران تخمین زده می‌شوند. این الگوریتم هم قابل اعمال به کدهای کوتاه هم‌زمان و هم به کدهای بلند می‌باشد. در مرجع [۱۴] یک الگوریتم با استفاده از ترکیب روش‌های TCF (روش‌های تابع همبستگی مرتبه سوم) و ICA (تحلیل مؤلفه مستقل) برای تخمین دنباله شبه تصادفی در یک سامانه چند کاربره با کانال‌های چند مسیره را پیشنهاد داده است. نتایج نشان می‌دهد زمانی که تنها یک مسیر برای هر کاربر وجود داشته باشد تخمین زده شده بسیار دقیق می باشد، ولی در صورتی که بیش از یک مسیر وجود داشته باشد یک همپوشانی از سیگنال تخمین زده شده با تأخیرهای مسیر مختلف به وجود می‌آید. برای حذف این همپوشانی روشی مبتنی بر کولایزر داده مجدد[2] و ICA ارائه شده است [۱۵] . الگوریتم ارائه شده برای دنباله‌های Gold و دنباله‌های m تایی و ... مناسب می باشد. این با تعداد کمی از کاربران تخمین خوبی را ارائه می‌دهد. در مرجع [۱۷] از الگوریتم مبتنی بر زیر فضای تکراری و در مرجع [۱۸] از روش TCF استفاده شده است که در سامانه‌های با نرخ دیتای پایین عملکرد مناسبی دارند.

در این مقاله نویسنده روشی نوین و کارآمد جهت تخمین طول دنباله‌های گسترش دهنده در سامانه‌های طیف گسترده چند کاربره دنباله مستقیم در کانال مخابراتی چند مسیره ارائه نموده است. روش ارائه شده بر پایه خواص همبستگی سیگنال‌های DS/CDMA می‌باشد و از ویژگی‌های جذاب و منحصر به فرد معیارهای تئوری اطلاعات در آن استفاده شده است و از آنجایی که بسیاری از پدیده‌های طبیعی مورد توجه در کاربردهای مهندسی توسط دو مشخصه توزیع آماری و ساختار زمانی مدل می‌شوند، الگوریتم ارائه شده می‌تواند هم توزیع آماری و هم توزیع زمانی را به‌کار گیرد.

در بخش ۲، مدل سامانه مورد نظر مشخص می‌شود. در بخش ۳، الگوریتم یادگیری تئوری اطلاعاتی معرفی می‌شود و معیار آنتروپی و انواع آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و روش پیشنهادی که در آن از آنتروپی تعمیم یافته استفاده شده است، شرح داده خواهد شد. در بخش ۴، سناریو و پارامترهای شبیه‌سازی ارائه می‌شوند و نتایج شبیه‌سازی توضیح داده شده و درنهایت بخش آخر شامل مقایسه و نتیجه‌گیری است.

۲- مدل ریاضی

۲-۱- مدل سامانه طیف گسترده دنباله مستقیم چند کاربره

یک سامانه با K کاربر که هر کاربر دارای یک کد بلند با پریود PNc که Nc گین گسترش و P تعداد سمبل‌های ارسالی در یک پریود هستند،را در نظر گرفته می‌شود. سیگنال ارسالی K امین کاربر را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$x_K(t) = \sum_{m_1=-\infty}^{+\infty} \sum_{m_2=0}^{P-1} \Big(I_k(m_1 \mathrm{p} + m_2) C_{km_2}(-m_1 PNc - m_2 Nc) \Big) \quad (۱)$$

که در آن، $I_k(n)$ دنباله سمبل‌های تولید شده توسط کاربر k است. کد گسترش دهنده یک کاربر در یک پریود به P، $\{C_{km_2} \mid m_2 = 0. \dots . P-1\}$، قسمت تقسیم می‌شود که هر کدام از این قسمت‌ها را می‌توان با تولید کدهای گسترش دهنده کوتاه مختلف تولید و سپس با الحاق این کدها یک پریود از کد بلند را ایجاد نمود. در صورتی که $P = 1$ باشد رابطه فوق معادل با کدهای کوتاه می‌شود.

سیگنال عبوری از کانال، ناشی از ارسال فرستنده kام را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$r_K(t) = \sum_{m_1=-\infty}^{+\infty} \sum_{m_2=0}^{P-1} \Big(I_k(m_1 \mathrm{p} + m_2) h_{km_2}(t - m_1 PT) \Big) \quad (۲)$$

که در آن، $T = NcTc$ دوره سمبل و $h_{k,m_2}(t)$ برابر مقدار زیر است:

$$h_{km_2}(t) = \sum_{\mathrm{n}=0}^{Nc-1} C_{km_2}(n) h_k(t - m_2 T - nT_c) \quad (۳)$$

که در آن، $h_k(t)$ کانال مؤثر (شامل پاسخ ضربه کانال وفیلتر شکل‌دهی پالس چیپ است) میان فرستنده K و گیرنده است. سیگنال دریافتی در گیرنده به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$r(t) = \sum_{\mathrm{k}=0}^{K-1} r_k(t) + n(t) \quad (۴)$$

که در آن، $n(t)$ نویز دریافتی در گیرنده است.

[2] Multiple Signal Classification
[3] Data Reuse Blind Equalization

۳- الگوریتم ارائه شده در جهت تخمین دنباله‌های گسترش طیف

اخیراً الگوریتم‌های متنوعی برای مدل‌سازی یک فرایند تصادفی از جمله الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های kernel پیشنهاد شده‌اند. علاوه بر این با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه یادگیری تئوری اطلاعات (ITL)[1] در کاربردهای زیادی قابل اعمال شده‌اند. بسیاری از این الگوریتم‌ها، تنها برای داده‌های با توزیع مستقل کاربرد دارند. تعمیم تابع همبستگی (GCF)[2] که بر اساس ضرب داخلی بردارها در فضای مشخصه kernel بیان می‌شود، اخیراً مورد توجه فراوانی قرار گرفته است. در برخی از مقالات تعبیر Correntropy را به‌کار برده‌اند. در ادامه ابتدا به مروری بر الگوریتم‌های ITL پرداخته می‌شود و سپس تعمیم تابع همبستگی را مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۱- یادگیری تئوری اطلاعات (ITL)

در الگوریتم‌های یادگیری، یادگیری تئوری اطلاعاتی (ITL) ، یک فرایند وفقی است که w، در یادگیری ماشین[3] g(.,w) ، با استفاده از دیدگاه تئوری اطلاعات تعیین می‌شود (شکل ۲).

به‌طور کلی دو معیار در الگوریتم‌های ITL مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱- معیار آنتروپی[4]؛

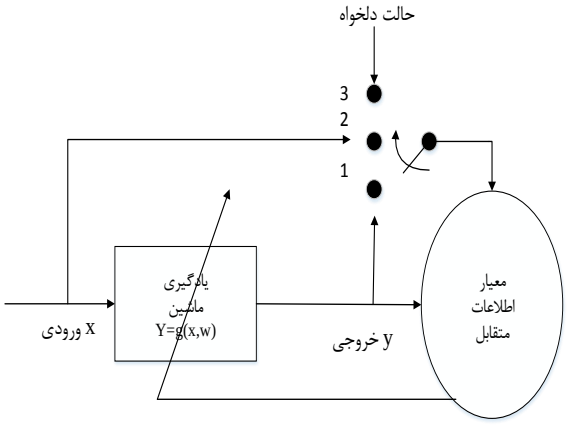
۲- معیار اطلاعات متقابل[5].

آنتروپی تنها تابع یک متغیر است و وابسته به ساختار سامانه است. اطلاعات متقابل متکی به تخمین اختلاف میان PDF[6] دو متغیر تصادفی و مستقل از ساختار سامانه می‌باشد [۱۶].

۳-۲- معیار آنتروپی

اگر x_k یک متغیر تصادفی گسسته با احتمال رخداد p_k باشد، میزان اطلاعات x_k برابر $I(p_k) = \log \frac{1}{p_k}$ است. این رابطه میزان اطلاعات Hartley نامیده می‌شود. آنتروپی شانون برابر میانگین آنتروپی Hartley است:

$$H= \sum_{k=1}^{K}(p_k)\, I(p_k) \qquad (۵)$$



شکل (۲): ماشین یادگیری با معیار تئوری اطلاعات.

رابطه (۵) برای متغیرهای تصادفی پیوسته به صورت زیر بیان می‌شود:

$$H=\int p(x)\log\frac{1}{p(x)}dx \qquad (۶)$$

در پردازش سیگنال، آنتروپی، قابل تعمیم به روش‌هایی است، که وابسته به آمارگان مرتبه دوم مثل واریانس و تابع همبستگی می‌باشند. همان‌طور که می‌دانید آمارگان $E\{x^n\}$ ، یک متغیر تصادفی i.i.d، به‌طور کامل توزیع متغیر تصادفی را مشخص می‌کند. زمانی که متغیر تصادفی دارای توزیع گوسی باشد، تنها آمارگان اول و دوم کافی است. یکی از معیارهای مهم در سامانه‌های عملی نسبت سیگنال به نویز (SNR) است. به دلیل این که معمولاً سیگنال معین و مشخص (میانگین) و نویز متغیر تصادفی با میانگین صفر است، SNR به صورت نسبت میانگین به واریانس، سیگنال به نویز، تعریف می‌شود. اگر نویز گوسی باشد، SNR به صورت کامل نسبت بین انرژی در میانگین و آمارگان مرتبه بالا را بیان می‌کند. با این وجود در صورتی که نویز غیر گوسی باشد به جای واریانس باید از آنتروپی استفاده نمود.

۳-۳- آنتروپی Renyi

تعمیم میانگین یک متغیر تصادفی، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$m_x = \varphi^{-1}(\sum_{k=1}^{n}(p_k\ \ \varphi(x_k)) \qquad (۷)$$

که در آن، $\varphi(x)$ تابع Kolmogorov-Nagumo است. با همین دیدگاه می‌توان تعمیم آنتروپی را به صورت زیر بیان کرد:

$$H = \varphi^{-1}(\sum_{k=1}^{n}(p_k\ \ \varphi(I(p_k)) \qquad (۸)$$

در معیار تئوری اطلاعات معمولاً $\varphi()$ را به صورت $\varphi(x) = x$ یا $\varphi(x) = 2^{(1-\alpha)x}$ انتخاب می‌کنند. در صورتی که در رابطه فوق $\varphi(x) = x$ باشد، به آنتروپی شانون می‌رسید و اگر $\varphi(x) = 2^{(1-\alpha)x}$، آنتروپی Renyi با مرتبه α به‌دست می‌آید:

[1] Information Theoretic Learning
[2] Generalized Correlation Function
[3] Machine Learning
[4] Entropy
[5] Mutual Information
[6] Probability Density Function

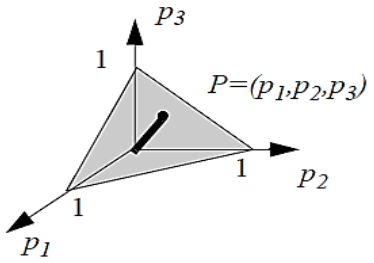
$$H_{R\alpha} = \frac{1}{1-\alpha}\log\left(\sum_{k=1}^{n} p_k^{\alpha}\right) \quad (۹)$$

آنتروپی Renyi برای متغیرهای پیوسته به صورت زیر بیان می‌شود:

$$H_{R\alpha} = \frac{1}{1-\alpha}\log\left(\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)^{\alpha}\, dx\right) \quad (۱۰)$$

آنتروپی Renyi به دلیل این که شامل انتگرال توان PDF است در تخمین ساده‌تر از آنتروپی شانون می‌باشد. بنابراین اگر توزیع احتمال $P = (P_1, \ldots, P_N)$ را مثل یک نقطه در فضای N بعدی در نظر بگیرید، فاصله این نقطه تا مبدأ برابر است با (شکل۳):

$$||P||_{\alpha} = \sqrt[\alpha]{\sum_{k=1}^{N} P_k^{\alpha}} = \sqrt[\alpha]{V_{\alpha}} \quad (۱۱)$$



شکل (۳): فاصله آنتروپی از مبدأ برای N= ۳

آنتروپی Renyi با توجه به رابطه (۱۱) به صورت زیر ساده می‌شود:

$$H_{R\alpha} = \frac{1}{1-\alpha}\log V_{\alpha} \quad (۱۲)$$

آنتروپی شانون در فضای با ابعاد بالا عملکرد بسیار ضعیفی دارد، به دلیل این که در آنتروپی Renyi، نرم یک بردار مورد توجه است و کار با نرم در ابعاد بالا به ویژه نرم مرتبه پایین بسیار ساده‌تر و عملکرد بهتری دارد.

در حالت خاص، اگر $\alpha = ۲$، آنتروپی Renyi درجه دوم به‌دست می‌آید.

$$H_2 = -log \int f^2(x)dx \quad (۱۳)$$

همچنین تابع PDF متغیر تصادفی x، با استفاده از تخمین‌گر Parzen از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} k_{\sigma}(x.x_i) \quad (۱۴)$$

$k_{\sigma}(\,)$ تابع kernel، σ اندازه‌ی kernel و N تعداد نمونه‌ها هستند. آنتروپی Renyi را می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

$$\hat{H_2} = -logV_2(x) \quad (۱۵)$$

که در آن، V(x) برابر است با:

$$V(x) = \frac{1}{N^2}\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{N} k_{\sigma\sqrt{2}}(x_j.x_i) \quad (۱۶)$$

۳-۴- تعمیم تابع همبستگی

از دیدگاه روش‌های kernel، تابع kernel یک تبدیل غیر خطی (φ) است که داده‌ها را از فضای ورودی به یک فضا یا ابعاد بالاتر می‌نگارد. این فضا RKHS نامیده می‌شود. رابطه میان تابع kernel و φ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$k(x_i\,.y_i) = \langle\, \varphi(x_i).\varphi(y_i)\,\rangle \quad (۱۷)$$

توابع مختلفی در الگوریتم‌های کرنل مورد استفاده قرار می‌گیرند که پرکاربردترین آن‌ها تابع کرنل گوسی است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$k_{\sigma}(x-y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(\frac{||x-y||^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (۱۸)$$

به‌دلیل اینکه الگوریتم‌های مبتنی بر Kernel، الگوریتم‌های تخمین تابع چگالی احتمال (PDF) به‌صورت غیر پارامتری هستند، می‌توان آمارگان مرتبه بالا را از داده‌های ورودی استخراج نمود.

تعریف: در صورتی که $\{x_t : t \in T\}$ یک فرایند تصادفی باشد، تابع تعمیم همبستگی (GCF)، $V(t_1,t_2)$، با دامنه $T \times T$ و برد R^+ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$V(t_1.t_2) = E\left[k\left(x_{t_1} - x_{t_2}\right)\right] \quad (۱۹)$$

با استفاده از بسط سری‌ها در رابطه (۱۳)، تابع GCF به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$V_{\sigma}(t_1.t_2) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)}}\sum_{n=0}^{+\infty}\frac{(-1)^n}{2^n\sigma^{2n}\,n!}\, E\left(||x_{t_1} - x_{t_2}||^{2n}\right) \quad (۲۰)$$

که در آن، σ پهنای باند کرنل را مشخص می‌کند. با افزایش σ اثر آمارگان مرتبه بالاتر کاهش می‌یابند و تابع correntropy به تابع همبستگی میل می‌کند.

برای یک فرایند اکیداً ایستای گسسته با زمان، تعمیم تابع همبستگی به‌صورت $V[m] = E[k(x_n - x_{n-m})]$ مشخص می‌شود، که به سادگی با میانگین‌گیری روی نمونه‌ها از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\hat{V}[m] = \frac{1}{N-m+1}\sum_{n=m}^{N} k(x_n - x_{n-m}) \qquad (۲۱)$$

به سادگی اثبات می‌شود که با میانگین گیری روی رابطه فوق نسبت به m به پتانسیل آنتروپی می‌رسید. به همین دلیل رابطه $\hat{V}[m]$ تابع correntropy نامیده می‌شود که نشان دهنده این است که دو متغیر تصادفی به چه میزان با یکدیگر مشابهت دارند. این میزان مشابهت در یک فضای مشخصه‌ای که توسط پهنای باند کرنل تعیین می‌شود. در واقع پهنای باند کرنل مثل یک لنز با قابلیت بزرگنمایی عمل می‌کند که پنجره مشاهده را کنترل می‌کند. در این پنجره مشاهده ارزیابی صورت می‌گیرد.

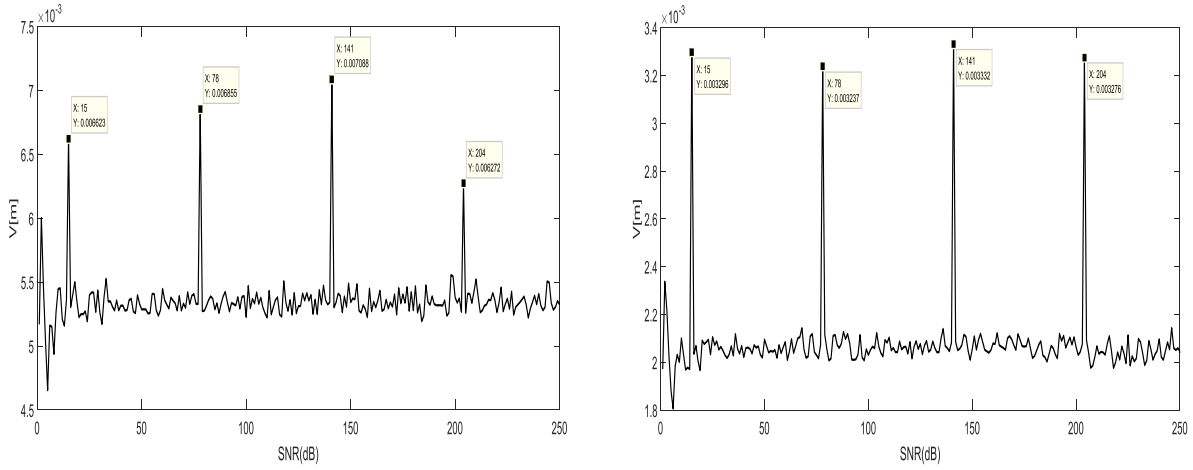
با رسم منحنی $\hat{V}[m]$ بر حسب m پیک‌هایی مشاهده می‌شود که فاصله میان آن‌ها مضربی از طول کد خواهد بود. شکل (۴) الگوریتم پیشنهادی برای تخمین طول کد را در دو حالت کد کوتاه و بلند نشان می‌دهد که چگونگی عملکرد آن در بخش ۴ به‌طور دقیق‌تر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴- نتایج شبیه‌سازی

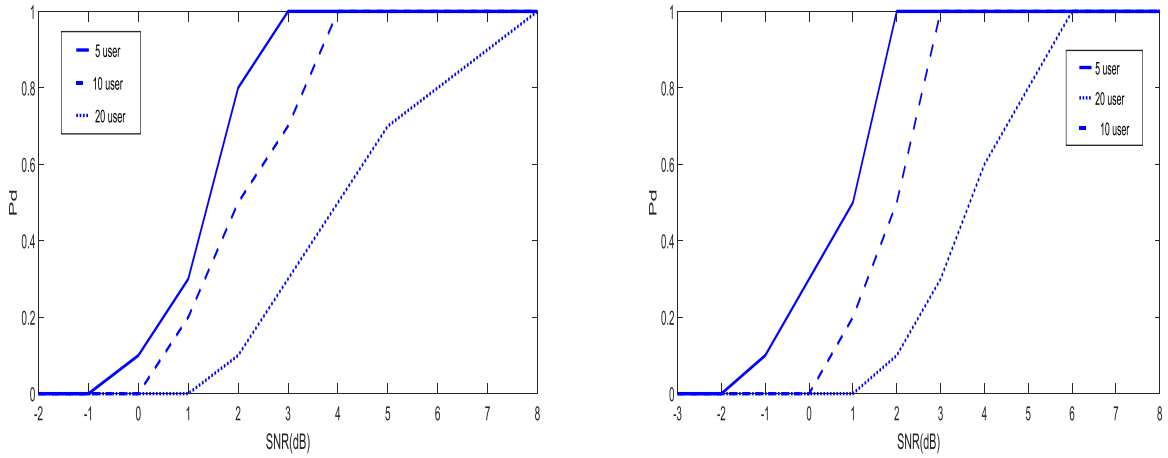
در این قسمت کارایی الگوریتم ارائه شده در تخمین طول کد را با کمک نتایج شبیه‌سازی مورد بررسی قرار داده می‌شود. معیار بررسی کارایی، احتمال تشخیص صحیح طول کد گسترش طیف کاربرهای سامانه در نظر گرفته شده است. پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی در جدول (۱) خلاصه شده است. نتایج، میانگین نتایج ۱۰۰ تکرار مستقل از هم آزمایش می‌باشد. ابتدا نتایج شبیه‌سازی‌ها برای یک سامانه DS-CDMA با طول گسترش طیف ۶۳ برای تمام کاربران و کانال چند مسیره و همچنین تک مسیره (AWGN) نسبت به تغییرات SNR برای تعداد کاربران مختلف آورده شده است (شکل (۵)). همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش تعداد کاربران، کارایی تخمین‌گر پیشنهاد شده کاهش می‌یابد و نتایج شبیه‌سازی نیز همین امر را اثبات می‌کند چرا که با افزایش تعداد کاربران تداخل بین کاربران زیاد می‌شود و همچنین طبق مشاهده و انتظار کارایی تخمین‌گر در کانال چند مسیره به دلیل تداخلی که در این محیط‌ها وجود دارد، در مقایسه با کانال تک مسیره کاهش می‌یابد.

در ادامه در شکل (۶) کارایی الگوریتم پیشنهاد شده را با تغییر بهره پردازش یا طول گسترش دهنده در کانال تک مسیره و چند مسیره مورد بررسی و آنالیز قرار مداده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود و طبق انتظار با افزایش طول کد، بهره پردازشی نیز افزایش یافته و کارایی الگوریتم مطرح شده بهبود می‌یابد اما همان‌طور که در قسمت قبل نیز گفته شد احتمال آشکارسازی صحیح طول کد در کانال چند مسیره در مقایسه با کانال تک مسیره کاهش می‌یابد به‌طوری که این کاهش برای کدهای با طول بزرگتر کمتر خواهد بود.

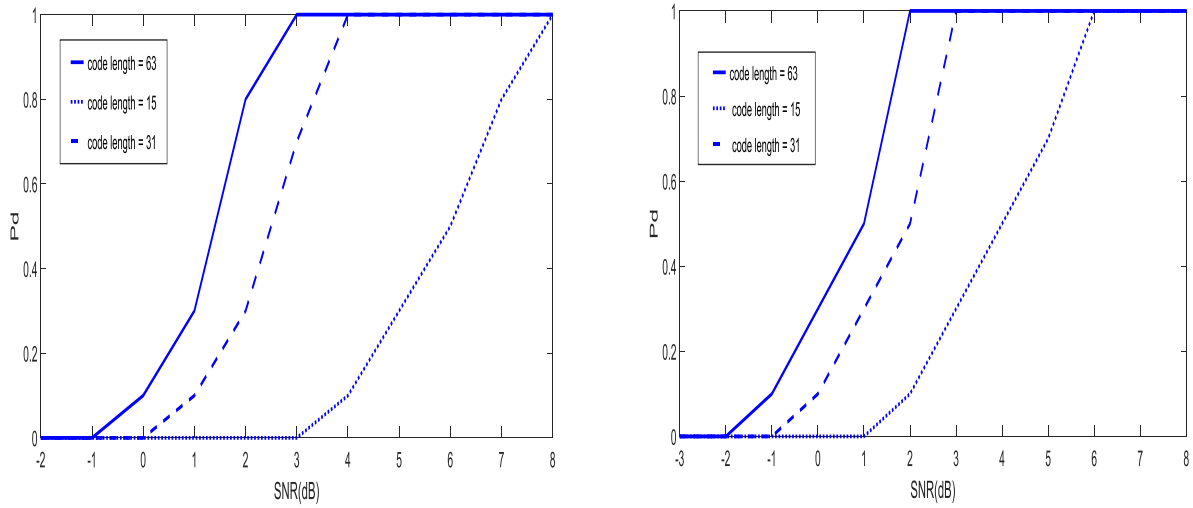
در قسمت آخر و در شکل (۷) به مقایسه آشکارسازی کدهای کوتاه و بلند در کانال تک مسیره پرداخته می‌شود. در این بررسی از کد کوتاه با طول ۶۳ و کد بلند با تعداد سه سمبل ارسالی در هر تناوب و در هر تناوب از کدهای کوتاه با طول ۶۳ استفاده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد کارایی الگوریتم ارائه شده در آشکارسازی کد بلند در مقایسه با کد کوتاه کاهش می‌یابد زیرا در تابع خود همبستگی علاوه بر پیک‌هایی که در مضربی از دوره تناوب وجود دارد، در مضربی از تناوب سمبل‌ها نیز پیک‌هایی مشاهده می‌گردد که تشخیص صحیح تناوب کد را با مشکل مواجه می‌کند.



شکل (۴): تخمین طول کد با استفاده از تعمیم تابع همبستگی با طول کد ۶۳ در حالت کد کوتاه (سمت راست) و کد بلند (سمت چپ) در SNR=4 dB



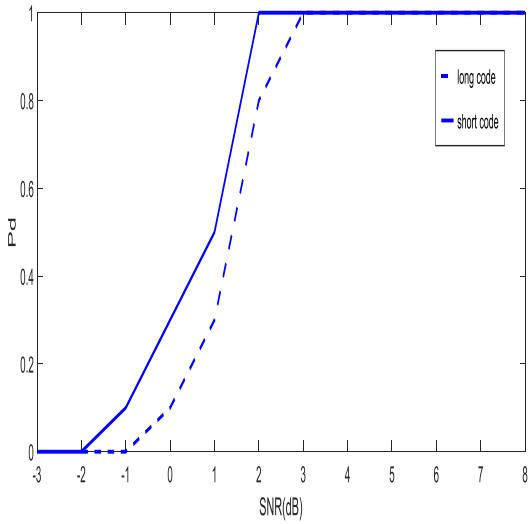
شکل (۵): احتمال تشخیص صحیح طول کد نسبت تغییرات SNR به ازای تعداد کاربران مختلف در کانال AWGN (سمت راست) و کانال چند مسیره (سمت چپ) با طول کد گسترش دهنده.



شکل (۶): احتمال تشخیص صحیح طول کد نسبت تغییرات SNR به ازای طول کد مختلف در کانال AWGN (سمت راست) و کانال چند مسیره (سمت چپ) ۶۳

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

BPSK	نوع مدولاسیون
گلد	کد گسترش دهنده
۵۰۰۰ بیت بر ثانیه	نرخ بیت ارسالی
چند مسیره با پاسخ ضربه محدود	محیط محو شونده
تصادفی با توزیع یکنواخت	تاخیر کانال



شکل (۷): مقایسه میان کدهای کوتاه و بلند در کانال AWGN

۵- نتیجه‌گیری

گفته شد که سامانه‌های DS/CDMA جزئی از روش‌های مخابرات امن محسوب می‌شوند. در نتیجه تخمین کد گسترش طیف و آشکارسازی داده‌ها در یک سامانه طیف گسترده چند کاربره با توجه به قابلیت‌های ذکر شده، امری مهم می‌باشد. به علاوه این مسئله را می‌توان حالت کلی آشکارسازی کور چند کاربره، جایی که گیرنده از هیچ‌کدام از کدهای گسترش طیف مطلع نیست در نظر گرفت. در مسیر تخمین کد گسترش طیف و آشکارسازی داده‌ها به صورت کور، گیرنده شنود نیاز به اطلاعات اولیه مهمی از جمله طول کد گسترش طیف دارد. در این مقاله، یک روش جدید برای آشکارسازی سیگنال طیف گسترده چند کاربره دنباله مستقیم و همچنین تخمین کور دنباله‌های گسترش دهنده طیف در سامانه‌های DS/CDMA ارائه شد. روش ارائه شده مبتنی بر معیار آنتروپی بوده که از معیارهای پرکاربرد الگوریتم ITL می‌باشد و از آنجایی که بر اساس خواص تابع همبستگی سیگنال دریافتی به تخمین طول کد پرداخته شد، به کمک این معیار به تعمیم تابع خود همبستگی رسیده شد و مسئله تخمین دوره تناوب کد گسترش دهنده را حل شد.

۶- مراجع

[1] J. G. Prokis and Salehi, "Digital Communications," vol. 4, McGraw-hill New York, 2001.

[2] L.Tongtong, L. Tongtong, J. K. Tugnait, and D. Zhi, "Channel Estimation of Long-code CDMA Systems Utilizing Transmission Induced Cyclostationarity," In Acoustics, Speech and Signal Processing, 2003, Proceedings. (ICASSP '03). 2003 IEEE Int. Conf. on, vol. 4, pp. IV-105-8, 2003.

[3] G. Burel and C. Bouder, "Blind Estimation of the pseudo-Random Sequence of a Direct Sequence Spread Spectrum Signal," In MILCOM 2021st Century Military Communications Conf. Proceedings, vol. 2, pp. 967-970, 2000.

[4] Y. L. Zhang Tianqi, Dai Shaosheng, and Li Xuesong, "Estimation of Period and Chip Rate of Pseudo-Noise Sequence for Direct Sequence Speread Spectrum Signals Using Correlation Techniques," Aeospace Electronic Warfare, pp. 53-57, 2007.

[5] F. S. Khodadad and F. Nazari, "Efficient and modern algorithm for estimating the input angle of a Direct Sequence Spread Spectrum Signal to the Antenna Array in a Multi-path Channel with Fading," Journal of Electronic and Cyber Defense, vol. 4, pp. 36 - 27, no. 3, Fall 2016. (In Persion)

[6] F. S. Khodadad and G. Abed Hedtani, "Blind Detection of Direct Sequence Spread Spectrum Range Signals Using Information Theory Criteria," Journal of Electronic and Cyber Defense, vol. 2, pp. 47-37, no. 2, Spring 2014. (In Persion)

[7] F. S. Khodadad, F. Ganji, A. Safaei, and F. S. Khodadad, "A Robust PN Length Estimation in down Link Low- SNR DS-CDMA Multipath Channels," In Advanced Communication Technology (ICACT 2010), The 12th Int. Conf. on, pp. 951-955, 2010.

[8] M. Pu, Z. Tianqi, Z. Wei, M. Guoning, and L. Yanli, "Period Estimation of the PN Sequence for Direct Sequence Spread Spectrum in Multipath Environment," In Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th Int. Conf. on, pp. 1-4, 2009.

[9] Z. Tianqi, D. Xiaohua, Y. Luqin, and G. Yongsheng, "Blind Estimation of PN Sequence Period for DS-UWB Signal Received in Multi-Path Environment," In Image and Signal Processing (CISP), 2010 3rd Int. Congress on, pp. 4358-4362, 2010.

[10] T. Chang and Z. Zhou, "A Spectral Method for Periodic Estimation of the PN Sequences in Lower SNR DS-CDMA Signals," In Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions, IEEE 2002 Int. Conf. on, pp. 506-510, vol. 1, 2002.

[11] C. N. Nzoza, R. Gautier, and G. Burel, "Blind Synchronization and Sequences Identification in CDMA Transmissions," In Military Communications Conf., 2004. MILCOM 2004, IEEE, vol. 3, pp. 1384-1390, 2004.

[12] P. Y. Qui, Z. T. Huang, W. L. Jiang, and C. Zhang, "Improved Blind-Spreading Sequence Estimation Algorithm for Direct Sequence Spread Spectrum Signals," Signal Processing, IET, vol. 2, pp. 139-146, 2008.

[13] P. Y. Qiu, Z. T. Huang, W. L. Jiang, and C. Zhang, "Blind Multiuser Spreading Sequences Estimation

[14] Y. Miao, L. Shiju, S. Lei, and C. Jianzhong, "Blind Estimation of Pseudo Random Sequence of DS-CDMA Signals with ICA," 2011.

[15] Method, "In e-Business and Information System Security (EBISS)", 2010 2nd Int. Conf.on, pp. 1-5, 2010.

[16] W. Yongpeng, L. Luokun, and Z. Jian, "Blind Estimation of PN Sequence of DS-CDMA Signal in Multipath," In Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd Int. Conf. on, pp. 1695-1699, 2012.

[17] D. X. Jose C. Principe , Qun Zhao , and John W. Fisher Iii, "Learning from Examples with Information Theoretic Criteria," VLSI Signal Processing, Image and Video Technology, vol. 26, pp. 61-77, 1999.

[18] H. Mirzadeh Sarcheshmeh, H. Khaleghi Bizaki, and S. Alizadeh, "PN Sequence Blind Estimation in Multiuser DS-CDMA Systems with Multipath Channel Based on Successive Subspace Scheme," DOI: 10.1002, 23 March 2018.

[19] X. Gu, Zh. Zhao, and L. Shen, "Blind Estimation of Pseudo-Random Codes In Periodic Long Code Direct Sequence Spread Spectrum Signals," IET J., doi: 10.1049, 7th January 2016.

Journal of Electronical & Cyber Defence
Vol. 8, No. 3, 2020, Serial No. 31

Using Generalized Entropy Approach for Blind Estimation of the Length of Spreading Sequences in Code Division Multiple Access Systems

F. Samsami khodadad*, S. Janalizade

*Amol University of Special Modern Technologies

(Received: 17/08/2019, Accepted: 01/02/2020)

ABSTRACT

In this paper, a novel method for signal detection and blind estimation of the length of spreading sequences, in direct sequence code division multiple access (DS/CDMA) systems with different short and long code modes, is presented. The spreading sequences are the basis of the spread spectrum systems which is mainly modeled as a quasi-random process, and their identification and estimation is the most important part of the structure of a spread spectrum receiver and the present article addresses this important issue. The basis of the proposed method of code length estimation is the information theory learning (ITL), and two of its major categories namely entropy criterion and mutual information criterion, which are used in modeling stochastic processes. The proposed method is a kind of generalized entropy and because it includes the integral of the power of probability density function, it is easier to estimate than the Shannon entropy and in large scale implementations it shows better performance. Besides, the proposed method does not need the basic information and that is why it is used in the design of blind receivers. Simulations and numerical results show the validity of our claim in the ability of the presented method in the estimation of the length of spreading sequences in both short and long coding modes.

Keywords: : DS/CDMA, Long Code, Information Theory, Generalized Entropy, Mutual Information Criterion

* Corresponding Author Email: samsami.farid@gmail.com