

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، (پیاپی ۴۵): صص ۲۰-۱۳

علمی - ترویجی

آشکارسازی کور سیگنال‌های برست در کانال گوسی

وحیدحیاتی مقدم^۱، حسین خالقی بیزکی^{۲*}، امید پاکدل آذر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

چکیده

امروزه طراحی یک گیرنده هوشمند به منظور شناسایی و آشکارسازی کور سیگنال در ارتباطات مبتنی بر سیگنال برست بسیار ضروری است. در این نوع گیرنده‌ها اولین و مهم‌ترین گام آشکارسازی، تشخیص حضور سیگنال و تعیین نقاط ابتدایی و انتهایی برست‌ها به منظور استخراج اطلاعات است. در این مقاله، روش جدیدی برای آشکارسازی کور سیگنال برست ارائه می‌گردد. در روش پیشنهادی نقاط ابتدا و انتهای برست‌ها که در واقع لبه‌های سیگنال هستند با روش تبدیل موجک به دست می‌آیند. معیار تشابه دایس، معیار خطای برست، معیار خطای زمان سکوت و معیار خطای کل برای بررسی عملکرد آشکارساز ارائه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی آشکارساز تبدیل موجک در کانال گوسی به عنوان نمونه برای طول برست‌های بلند، ضریب دایس در سیگنال به نویز -2dB به $0/9768$ می‌رسد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های موجود در این زمینه است.

کلیدواژه‌ها: سیگنال برست، آشکارسازی کور، کانال گوسی، برست کوتاه و بلند، تبدیل موجک

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش مخابرات امن و رمزنگاری، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

^۲ دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر - (bizaki@gmail.com) - نویسنده مسئول

^۳ دکترای مخابرات دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۱- مقدمه

کوتاه با حدود صد یا کمتر سمبل داده و پرست‌های بلند با حدود چند هزار سمبل داده در هر پرست. در پرست‌های بلند داده کافی به منظور استخراج ویژگی مناسب (مثل محاسبه همبستگی در [۳]) وجود دارد درحالی که در پرست‌های کوتاه نیاز به روش‌های مقاوم نسبت به نویز است. در مقاله حاضر به بررسی آشکارسازی پرست‌های کوتاه پرداخته می‌شود.

آشکارسازی سیگنال‌های پرستی را می‌توان مشابه مسئله تشخیص طیف (ابتدا وانت‌های طیف فعال) در سنجش طیف گیرنده‌های هوشمند در نظر گرفت.

آشکارسازی سیگنال در سنجش طیف با روش‌های متفاوتی بررسی شده است از جمله [۴]:

الف- آشکارساز انرژی: آشکارساز انرژی یکی از روش‌های شناسایی و ساده‌ترین و محبوب‌ترین آن‌هاست. در این روش گیرنده انرژی سیگنال دریافتی را اندازه‌گیری کرده و آن را با یک سطح آستانه مقایسه می‌کند، آستانه‌ای که به میزان نویز بستگی دارد [۷-۵] در این روش نیاز به داشتن اطلاعات اولیه نبوده و تنها دانستن سطح نویز و تعیین آستانه‌ای^۴ وابسته به نویز کفایت می‌کند. مقدار آستانه برای یک احتمال هشدار^۵ معلوم در نظر گرفته می‌شود.

ب- آشکارسازی بر اساس خواص ایستادن چرخشی: ویژگی ایستایی چرخشی بر اساس دوره ای بودن سیگنال یا آمارگان‌هایش مانند میانگین و تابع خودهمبستگی^۶ است که به جای چگالی طیف توان از تابع خودهمبستگی متناوب برای آشکارسازی حضور سیگنال در یک طیف مشخص استفاده می‌شود [۸]. با استفاده از ویژگی وجود همبستگی طیفی در سیگنال‌های مدوله‌شده و عدم وجود همبستگی در نویز می‌تواند نویز را از سیگنال کاربر اولیه متمایز نمود.

پ- آشکارساز بر اساس فیلتر منطبق^۷: آشکارسازی به روش فیلتر منطبق در صورت معلوم بودن مشخصات سیگنال ارسال شده، یک روش مؤثر برای آشکارسازی کاربران اولیه است. مزیت اصلی این روش، زمان کوتاه و احتمال خطای کم در مقایسه با سایر روش‌ها هست [۹]. به‌رحال فیلتر منطبق نیازمند دم‌دوله کردن سیگنال دریافتی کاربر اولیه توسط گیرنده است. به همین دلیل این روش نیازمند داشتن اطلاعات کامل از سیگنال ارسالی از جمله شکل پالس، نوع مدولاسیون، فرکانس کاری و پهنای باند هست. علاوه بر این پیچیدگی پیاده‌سازی آن بسیار زیاد است. عیب دیگر فیلتر منطبق، مصرف زیاد توان برای انجام عملیات سنجش است [۱۰].

با توجه به فراگیر شدن استفاده از گیرنده‌های هوشمند، آشکارسازی کور^۱ یک رویکرد قابل توجه در مخابرات محسوب می‌شود. امروزه، رویکرد استفاده از این سامانه‌ها در کاربردهای تجاری و نظامی اهمیت خود را هر چه بیشتر نمایان کرده است به‌گونه‌ای که برخی روش‌های ابداعی جدید جهت پردازش کور سیگنال در [۱۱] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از سویی دیگر با توجه به گسترش روزافزون سامانه‌های ارتباطی مبتنی بر پرست، توجه به گیرنده‌های هوشمند و آشکارسازی کور سیگنال‌های پرست بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گرفته است. در این سامانه‌ها پس از تشخیص وجود یا نبود یک سیگنال، اولین قدم آشکارسازی پرست‌های اطلاعات است.

آشکارسازی سیگنال پرست فرآیندی است که طی آن سیگنال موردنظر که ناشی از اثرات کانال دچار تغییراتی شده است از نویز پیرامون به‌گونه‌ای تفکیک شود که زمان دقیق ابتدا و انتهای پرست‌های تعیین گردد. در این فرایند بایستی با دو مانع مهم و اساسی مقابله شود که عبارت‌اند از تغییرات سیگنال در طول مسیر (ناشی از پدیده چندمسیره) و نویز جمع شونده که با توجه به کانال و دیگر عوامل تأثیرگذار رفتارهای متفاوتی دارند.

مسئله آشکارسازی کور در ارتباطاتی که بر پایه پرست^۲ استوار است تنها به بررسی و تحلیل وجود یا عدم وجود سیگنال (پرست) خلاصه نمی‌شود. در این حالت، به تشخیص جایگاه واقعی پرست نیز نیاز است. در یک سامانه مخابراتی، اطلاعات (کاربران) مختلف در قالب پرست‌های متوالی قرار گرفته و برای این که پرست‌ها با همدیگر تداخل نداشته باشند یک‌زمان سکوت^۳ میان آن‌ها قرار می‌دهند. به‌منظور استخراج پرست‌ها و جدا نمودن آن‌ها از زمان‌های سکوت، که تنها نویز در آن‌ها وجود دارد، باید مکان‌های پرست و زمان سکوت از همدیگر مشخص و تفکیک گردند. بنابراین آشکارسازی سیگنال‌های پرست پس از تشخیص وجود و حضور سیگنال، بایستی زمان شروع پرست و پایان آن مشخص شود [۲].

در [۳] آشکارسازی سیگنال پرست به مفهوم تعیین ابتدا و انتهای پرست بررسی شده است. در این مرجع با استفاده از همبستگی سیگنال دریافتی و مقایسه آن با یک آستانه، ابتدا و انتهای پرست‌ها برای پرست‌های بلند تعیین می‌گردد.

در یک دسته‌بندی بزرگ و بر اساس سامانه‌های عملی، سیگنال پرست را می‌توان به دودسته تقسیم نمود: پرست‌های

⁴ Threshold

⁵ False Alarm Probability

⁶ Autocorrelation

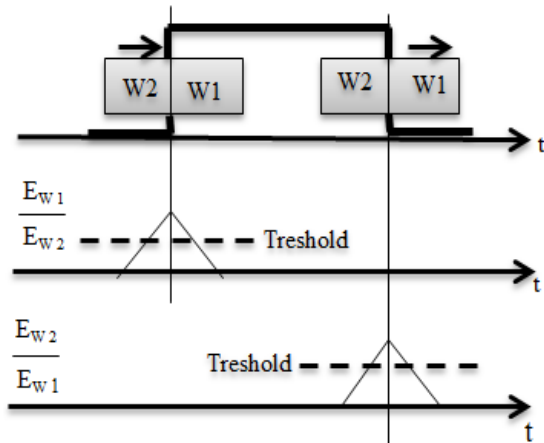
⁷ Matched Filter Based Detection

¹ Blind Detection

² Burst

³ Guard Time

که انرژی سیگنال نسبت به جاهای دیگر در طول سیگنال تغییرات زیادی دارد. در نقطه شروع برست انرژی به شدت افزایش و در نقطه پایان برست انرژی به شدت کاهش می‌یابد. برای این منظور مطابق شکل (۱)، از دو پنجره در کنار هم و با طول همسان که در طول سیگنال حرکت می‌کنند استفاده می‌شود. زمانی که نسبت انرژی در پنجره جلوتر (پنجره اول) نسبت به پنجره عقب‌تر (پنجره دوم) بیشینه شود، در شروع برست قرار داریم و در حقیقت پنجره اول کاملاً در برست و پنجره دوم در نوپز (زمان سکوت) قرار دارد. به همین صورت زمانی که انرژی پنجره دوم نسبت به پنجره اول بیشینه شود در پایان برست قرار داریم. به عبارت دیگر، زمانی که پنجره دوم کاملاً در برست و پنجره اول کاملاً در نوپز واقع شده باشد. در شکل (۲)، E_{w1} برابر با انرژی پنجره و Threshold برابر با آستانه است.



شکل (۱): توابع نسبت انرژی برای شروع و پایان برست [۱۳].

نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که وقتی طول زمان سکوت بیشتر از طول پنجره انتخابی برای آشکارسازی باشد ممکن است به اشتباه زمان سکوت را برست تشخیص دهد و یا اگر طول پنجره انتخابی بیشتر از زمان سکوت باشد ممکن است دو برست کنار هم بازمان سکوت کوچک بین آن‌ها را به اشتباه یک برست تشخیص دهد. بنابراین در روش نسبت انرژی با دو طول پنجره کوچک (مثلاً ۱۰ نمونه‌ای) و طول پنجره بزرگ (مثلاً ۱۰۰ نمونه‌ای) آشکارسازی انجام شده و نتایج آشکارسازی با دو طول پنجره کوچک و بزرگ را در هم ضرب و نتیجه نهایی حاصل می‌شود.

یکی از ایرادات این روش با توجه به اینکه آشکارسازی کور مدنظر است، معلوم بودن نسبت سیگنال به نویز و حد پایین طول برست‌ها است به همین منظور در این مقاله از تبدیل موجک استفاده می‌کنیم تا بتوانیم این ایرادات را تا حد امکان برطرف نماییم.

مقاله حاضر با استفاده از روش آشکارساز نسبت انرژی ارائه شده در [۱] به ارائه آشکارسازی سیگنال‌های برست در برست‌های کوتاه و بلند با استفاده از تبدیل موجک می‌پردازد. و از آنجایی که در روش‌های قبلی از جمله روش نسبت انرژی [۲] نسبت سیگنال به نویز دانسته فرض شده و همچنین حد پایین طول برست‌ها مشخص است و این برای آشکارسازی کور ایراد محسوب می‌شود در روش آشکارسازی سیگنال برست با تبدیل موجک این ایرادات برطرف شده است.

ساختار این مقاله بدین صورت است که در ادامه در بخش دوم دو روش آشکارسازی کور سیگنال در برست مورد بحث قرار می‌گیرد و در بخش سوم روش آشکارسازی پیشنهادی ارائه می‌شود و در بخش چهارم عملکرد روش پیشنهادی تبدیل موجک با ارائه نتایج شبیه‌سازی مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد و در انتها جمع‌بندی و نتیجه‌گیری صورت خواهد گرفت.

۲- آشکارسازی کور سیگنال برست

با توجه به سه روش عمومی آشکارسازی سیگنال برست بیان شده در بخش قبلی، روش آشکارساز انرژی به دلیل سادگی پیاده‌سازی، عدم نیاز به پیش فرض‌های اولیه و همچنین کارایی مناسب در شرایط نویزی کاندید مناسبی برای آشکارسازی برست‌های کوتاه است. در ادامه به بررسی دو آشکارساز انرژی و نسبت انرژی در حوزه زمان پرداخته می‌شود.

۲-۱- آشکارساز انرژی^۱

در شرایطی که گیرنده اطلاعات کاملی درباره سیگنال ارسالی در دسترس نداشته باشد، به عنوان مثال تنها توان نویز گوسی تصادفی برای گیرنده معلوم باشد، آشکارساز مناسب یک آشکارساز انرژی خواهد بود. ایده آشکارسازی بر اساس انرژی سیگنال دریافتی متداول‌ترین راه سنجش (طیف) است. از این روش برای پیدا کردن مکان‌هایی که برست در آنجا حضور دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. مکان‌هایی که انرژی سیگنال با چشم‌گیری مواجه می‌شود معادل شروع و پایان برست است. در شروع برست انرژی سیگنال افزایش و در انتهای برست میزان انرژی افت قابل توجهی پیدا می‌کند. این نوع آشکارساز که به دلیل پیچیدگی کم محاسباتی ساده‌ترین و پرکاربردترین نوع آشکارساز است یک آشکارساز کور محسوب می‌شود [۱۱-۱۲].

۲-۲- آشکارساز نسبت انرژی^۲

در این روش [۲] از تابع تغییرات نسبت انرژی استفاده می‌شود، به این صورت که شروع و پایان برست‌ها دقیقاً مکان‌هایی هستند

^۱ Energy Detector

^۲ Energy Ratio Detector

۳- روش پیشنهادی

در این مقاله به منظور یافتن نقاط ابتدا و انتهای برست، که در واقع لبه‌های سیگنال هستند، از تبدیل موجک استفاده می‌کنیم. از آنجایی که تبدیل موجک دارای پنجره با طول متفاوت است و در روش نسبت انرژی طول دو پنجره انتخابی یکسان و تنها از دو طول پنجره کوتاه و بلند استفاده شده است می‌تواند روش پیشنهادی (تبدیل موجک) عیب طول پنجره را برطرف نماید [۱۴]. رابطه تبدیل موجک را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$wt(s, \tau) = \langle x, \psi_{s, \tau} \rangle = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (11)$$

به طوری که s فاکتور مقیاس و τ بیان‌کننده میزان شیفت زمانی است. از این رابطه مشاهده می‌شود که زمان به صورت مستقیم و فرکانس به صورت معکوس با فاکتور مقیاس در ارتباط است. این پارامتر در تجزیه و تحلیل موجک مشابه مقیاسی که در نقشه‌ها استفاده می‌شود عمل می‌کند به این صورت که مقیاس‌های بالا نشان دهنده یک دید کلی فاقد جزئیات (از سیگنال) و مقیاس‌های پایین نشان‌دهنده یک دید با تفصیل بیشتر می‌باشد. در تبدیل موجک، سیگنال اصلی در یک تابع موجک مادر، که نقشی مشابه پنجره در تبدیل فوریه زمان کوتاه را دارد، ضرب شده به گونه‌ای که بر روی قطعات مکانی (زمانی) مختلف داده این عمل انجام می‌شود.

۳-۱- تبدیل موجک پیوسته (CWT)

با توجه به رابطه (۱)، که به صورت ضرب داخلی بیان شده است، می‌توان گفت که تبدیل موجک در حقیقت میزان شباهت^۲ و نزدیکی موجک مادر (توابع پایه) با محتوای فرکانسی سیگنال اصلی را با توجه به مقیاس^۳ در نظر گرفته شده را می‌سنجد [۱۵].

الگوریتم موجک پیوسته

۱. یک موجک مادر هار^۴ (به دلیل عملکرد خوب و سادگی محاسباتی این نوع موجک) انتخاب می‌کنیم.

۲. موجک با پارامتر مقیاس تعیین شده، به ابتدای سیگنال دریافتی (از کانال) منتقل می‌کنیم.
۳. شباهت میان موجک (شیفت یافته و مقیاس دار) و سیگنال دریافتی را محاسبه می‌کنیم.
۴. موجک را با رزولوشن زمانی (مکانی) در طول سیگنال حرکت می‌دهیم.
۵. مراحل ۳ و ۴ را تا پایان زمان (مکان) تکرار می‌کنیم.
۶. مقدار ضریب مقیاس را کاهش می‌دهیم (موجک را گسترده می‌کنیم).
۷. مراحل ۲ تا ۶ را تا بررسی تمامی مقیاس‌ها تکرار می‌کنیم.
۸. نتیجه محاسبات را در قالب یک ماتریس که شامل نتایج به دست آمده در مرحله ۳ الگوریتم (میزان شباهت موجک با سیگنال در هر لحظه از زمان) است، برمی‌گردانیم.

۳-۲- تبدیل موجک گسسته (DWT)

درواقع از نمونه‌برداری از تبدیل موجک پیوسته به منظور پیاده‌سازی بهتر و بار محاسباتی کمتر تبدیل موجک گسسته حاصل می‌شود [۱۵].

در سیگنال‌های با نویز زیاد، برای این که تا حد زیادی اثر نویز را کاهش دهیم می‌توان از سیگنال در چندین مرحله تبدیل موجک گرفت که هر مرحله روی کلیات یعنی فرکانس‌های پایین صورت می‌گیرد که در هر مرتبه در خروجی تبدیل موجک سیگنال به دودسته کلیات و جزئیات تقسیم می‌شود. در طی این مراحل سیگنال نرم‌تر شده و تغییرات تند سیگنال که بیشتر در اثر نویز ناشی شده را می‌توان حذف نمود تا به تغییرات نرم که لبه‌ها باشند رسید. لازم به ذکر است که در طول هر مرحله که تبدیل موجک گرفته می‌شود طول به نصف کاهش یافته یعنی در خروجی تبدیل موجک، طول هر کدام از کلیات و جزئیات سیگنال اندازه نصف سیگنال ورودی تبدیل موجک است.

برای تشریح عملکرد آشکارسازی مبتنی بر روش تبدیل موجک به عنوان مثال در شکل (۲) سیگنالی با ۵ برست با مدولاسیون QPSK و شکل پالس کسینوسی افزایشی مدوله شده

⁵ Discrete Wavelet Transform

¹ Continuous Wavelet Transform

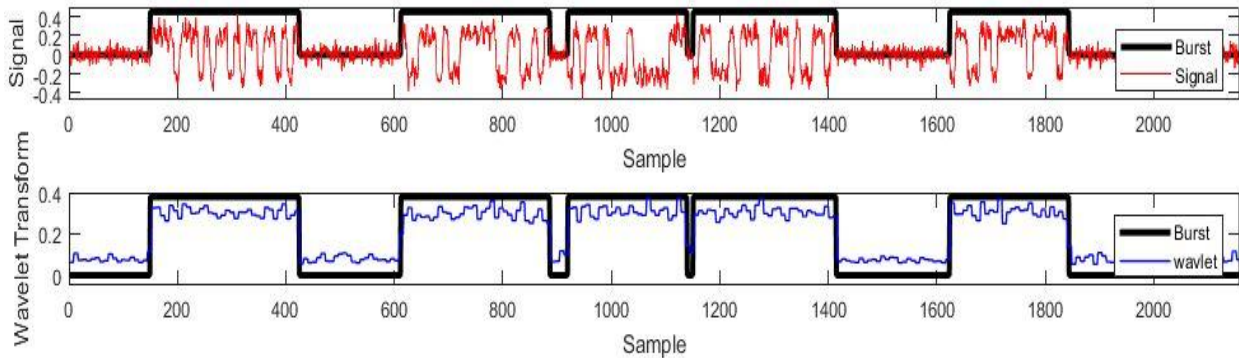
² Correlation

³ Scale

⁴ Haar

۲dB- و نرخ ۱۰ نمونه بر سمبل نمونه‌برداری شده است.

نمایش داده شده است. این سیگنال با نسبت سیگنال به نویز

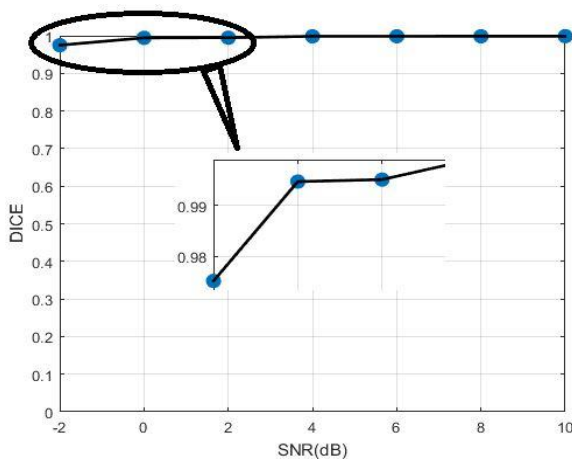


شکل (۲): آشکارسازی با روش تبدیل موجک.

رابطه ۳ در نظر گرفت [۲].

$$D(W_R, W_D) = \frac{\sum_{j=0}^{N_S-1} W_R(j)W_D(j)}{N_S} + \frac{\sum_{j=0}^{N_S-1} (1 - W_R(j))(1 - W_D(j))}{N_S} \quad (3)$$

به طوری که w_R موقعیت واقعی برست و w_D موقعیت آشکار شده برست و N_S تعداد نمونه‌های موجود در بازه مشاهده است. از این رابطه مشاهده می‌شود که هراندازه میزان شباهت سیگنال آشکارسازی شده با سیگنال واقعی بیشتر باشد، ضریب دایس به بیشینه مقدار خود که می‌تواند داشته باشد یعنی یک نزدیک‌تر می‌شود.



شکل (۳): ضریب دایس

در شکل (۳) ضریب دایس را برای آشکارساز تبدیل موجک رسم شده است که نشان از دقت آشکارساز تبدیل موجک در نسبت سیگنال به نویزهای پایین دارد.

۴- نتایج شبیه‌سازی

به منظور بررسی عملکرد آشکارسازی سیگنال برست مبتنی بر تبدیل موجک، کانال با نویز گوسی سفید جمع شونده را در نظر گرفته شده و روابط ورودی و خروجی به فرم زیر تعریف می‌شود:

$$r(t) = s_m(t) + n(t) \quad (2)$$

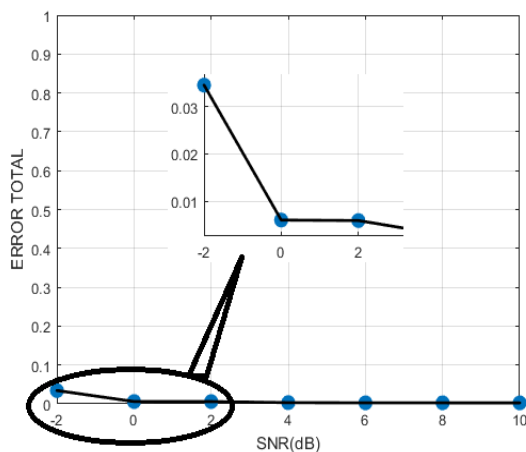
که $s_m(t)$ یکی از M سیگنال ممکن از مجموعه $\{s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)\}$ می‌باشد. و $n(t)$ نیز نویز سفید گوسی با چگالی طیف توان $\frac{N}{2}$ و میانگین صفر در نظر گرفته شده است. با استفاده از نرم افزار مطلب سیگنالی با ۱۰ برست به طور تصادفی با مدولاسیون QPSK با شکل پالس کسینوسی افزایشی مدوله شده است. هر برست ۴۰ تا ۲۰۰ بیت اطلاعات و طول زمان سکوت ۲ تا ۱۰ بیت اطلاعات در نظر گرفته شده است. هر آزمایش در بازه نسبت سیگنال به نویز ۲ dB- تا ۱۰ dB صد مرتبه تکرار شده و نتایج با توجه به سه معیار: الف) ضریب دایس (که میزان شباهت موقعیت واقعی برست با موقعیت آشکار شده آن را می‌سنجد)، ب) خطای برست (از حاصل تقسیم تعداد نمونه‌های برستی که به اشتباه نویز تشخیص داده شده‌اند بر کل تعداد نمونه‌های برست به دست آمده و در این نوشتار با E_B نمایش داده می‌شود)، ج) خطای زمان سکوت (از حاصل تقسیم تعداد نمونه‌های صرفاً نویزی که به اشتباه به عنوان نمونه‌های برست تشخیص داده شده‌اند بر کل تعداد نمونه‌های صرفاً نویز به دست آمده و در این نوشتار با E_G نمایش داده می‌شود) و د) خطای کل (که از تقسیم تعداد کل نمونه‌هایی که اشتباه تشخیص داده شده‌اند بر کل نمونه‌های دریافتی به دست آمده و در این نوشتار با E_{total} نشان داده می‌شود) سنجیده شده است.

رابطه ضریب دایس D به فرم ریاضی را می‌توان به صورت

برستی شناخته است بر کل نمونه‌های نویزی موجود در سیگنال واقعی به دست می‌آید.

با توجه به نتایج حاصل از خطای برست و خطای زمان سکوت برای آشکارساز تبدیل موجک، نشان از مناسب بودن روش پیشنهادی در نسبت سیگنال به نویزهای پایین است.

معیار خطای کل که در شکل (۶) نشان داده شده است در واقع ترکیب دو خطای برست و خطای زمان سکوت است که از تقسیم کل نمونه‌هایی که در آشکارساز به‌اشتباه آشکارسازی شده‌اند (صرفاً نویز به‌عنوان نمونه برستی و برعکس) بر کل نمونه‌ای موجود در سیگنال دریافتی به‌دست می‌آید.



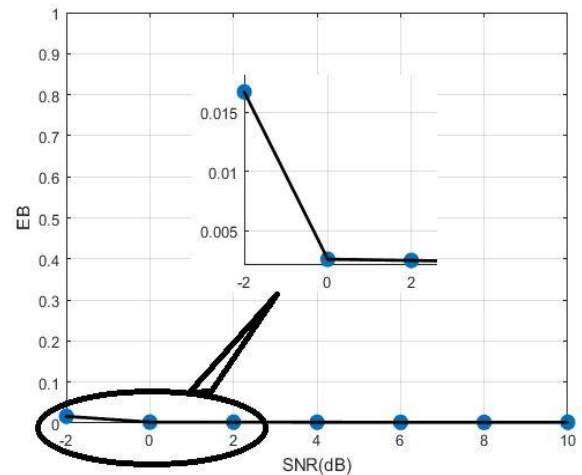
شکل (۶): خطای کل.

همان‌طور که از نتایج حاصل از معیارهای سنجش عملکرد آشکارساز (ضریب دایس، خطای برست، خطای زمان سکوت و خطای کل) مشخص است آشکارساز پیشنهاد شده با تبدیل موجک می‌تواند روشی مناسب در آشکارسازی سیگنال برست در کانال گوسی باشد. با توجه به این‌که این روش ارائه‌شده کور است و هیچ اطلاعاتی حتی از نسبت سیگنال به نویز یا حد پایین یا بالای برست ندارد می‌توان گفت به شکلی ضعیف‌های روش‌های نسبت انرژی را پوشش می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

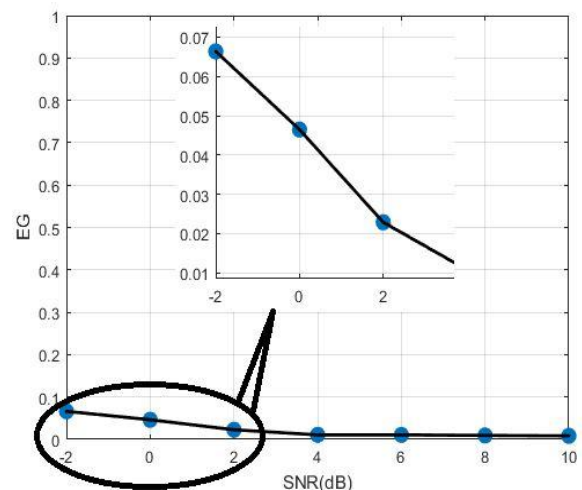
در آشکارسازی کور سیگنال برست یک بحث اساسی کور بودن و نداشتن هیچ‌گونه اطلاعاتی از سیگنال ارسالی و آمارگان‌های آن است. در روش‌های پیشین آشکارسازی سیگنال برست (مانند روش نسبت انرژی) چند پارامتر دانسته فرض شده بود: یکی حد پایین طول برست‌ها و دیگری نسبت سیگنال به نویز. برای برطرف نمودن این ضعف راهکار استفاده از تبدیل موجک را ارائه نمودیم. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در بحث مهم کاهش اثر نویز در نسبت‌های سیگنال به نویز پایین، تبدیل موجک به این

ضریب دایس^۱ به‌تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای سنجش و دقت آشکارساز باشد چون اگر برست بزرگتر از مقدار واقعی آن آشکار شود بازهم به دلیل تعداد نمونه‌های بالای برست ضریب دایس بالا خواهد بود درحالی‌که آشکارساز به‌خوبی عمل نکرده است. برای بررسی این مطلب خطای برست، خطای زمان سکوت و خطای کل نیز بررسی می‌شود.



شکل (۴): خطای برست.

در شکل (۴) معیار خطای برست رسم شده است که از حاصل تقسیم تعداد نمونه‌هایی که در سیگنال واقعی به‌عنوان برست حضور داشتند و در آشکارساز به‌اشتباه به‌عنوان نمونه نویزی آشکار شده‌اند بر کل تعداد نمونه‌های برستی موجود در سیگنال واقعی، به‌دست می‌آید.



شکل (۵): خطای زمان سکوت.

خطای زمان سکوت در شکل (۵) نمایش داده‌شده است که از حاصل تقسیم تعداد نمونه‌هایی که در سیگنال واقعی به‌عنوان نویز حضور داشتند و آشکارساز آن‌ها را به‌اشتباه به‌عنوان نمونه‌ی

^۱ Dice

۵۰ بیت اطلاعات و طول زمان سکوت ۲ تا ۸ بیت اطلاعات) انجام شده و با روش نسبت انرژی [۲] مقایسه شده است. نتیجه این مقایسه در جدول (۱) برای طول برست کوتاه و در جدول (۲) برای طول برست بلند، همان‌طور که دیده می‌شود ضریب دایس در آشکارسازی پیشنهادی بهتر شده است و این آشکارساز برای هر دو طول برست کوتاه و بلند توانایی آشکارسازی مطلوب را دارد.

دلیل که می‌تواند در چند مرحله بر روی سیگنال اعمال شود تا تغییرات سریع فرکانسی که معمولاً در اثر نویز به وجود می‌آید را تا حد ممکن کاهش دهد عملکرد قابل قبولی دارد. به‌منظور بررسی و مقایسه بهتر عملکرد، آشکارسازی برست با دو طول برست بلند (هر برست ۱۶۰ تا ۲۰۰ بیت اطلاعات و طول زمان سکوت ۶ تا ۱۰ بیت اطلاعات) و برست کوتاه (هر برست ۴۰ تا

جدول (۱): مقایسه ضریب دایس، خطای برست و خطای زمان سکوت دو روش نسبت انرژی [۲] و تبدیل موجک، طول برست کوتاه

معیار \ SNR (dB)		-۲	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
		D	Energy	۰/۹۶۴	۰/۹۸۰	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹
Wavelet	۰/۹۷۵۲		۰/۹۸۸۵	۰/۹۸۸۸	۰/۰۹۹۷۲	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵
E _B	Energy	۰/۰۶	۰/۰۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
	Wavelet	۰/۰۱۶۷	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۵۳
E _G	Energy	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
	Wavelet	۰/۰۶۶۴	۵۱۴/۰۱	۰/۰۲۸۳	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۰۵	۰/۰۱۰۵

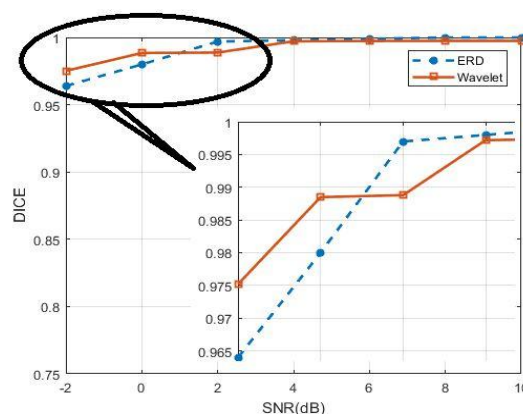
جدول (۲): مقایسه ضریب دایس، خطای برست و خطای زمان سکوت دو روش نسبت انرژی [۲] و تبدیل موجک طول برست بلند

معیار \ SNR (dB)		-۲	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
		D	Energy	۰/۹۰	۰/۹۹۴	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱
Wavelet	۰/۹۷۶۸		۰/۹۹۷۰	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۴
E _B	Energy	۰/۱	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰
	Wavelet	۰/۰۲۱۴	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۳
E _G	Energy	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	Wavelet	۰/۰۲۳۶	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸

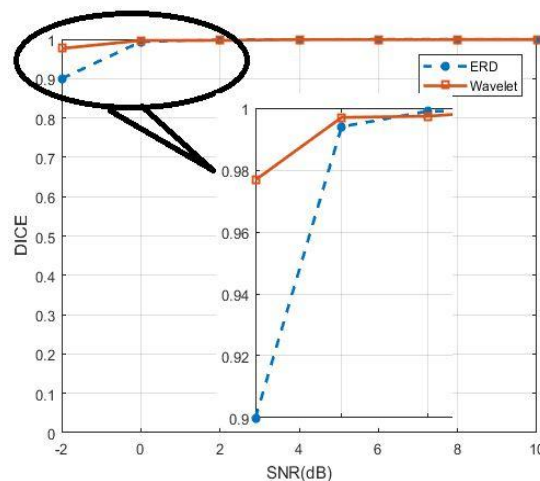
است در نسبت سیگنال به نویز ۲ dB- روش تبدیل موجک با توجه به کور بودن آشکارسازی و اینکه هیچ‌گونه اطلاعاتی از سیگنال ارسالی در دسترس نیست در مقایسه با روش‌های موجود در این زمینه عملکرد بهتری دارد.

به‌منظور درک بهتر، نتایج جدول (۱ و ۲) به‌ترتیب در شکل‌های (۷ و ۸) نشان داده شده‌اند. مقایسه ضریب دایس که میزان تشابه برست واقعی را با آشکارشده می‌سنجد دو روش نسبت انرژی و تبدیل موجک (برست کوتاه) در شکل (۷) و برای برست بلند در شکل (۸) نشان داده‌شده و همان‌طور که مشخص

- [2] M. Zebarjadi and M. Teimouri, "Blind Detection of Burst Signals in Non-Cooperative Environment," *Tabriz Journal of Electrical Engineering*, vol. 47, pp. 1465-1477, 2018.
- [3] Dan, Sui, X. Xiaojian, and W. Jing, "A novel presence detector for burst signals based on the fluctuation of the correlation function," *10th IEEE International Conference on Signal Processing Proceedings*, 2010.
- [4] Y. Zeng and Y. C. Liang, "Spectrum-sensing algorithms for cognitive radio based on statistical covariances," *IEEE transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, pp. 1804-1815, 2008.
- [5] F. F. Digham, M. S. Alouini, and M. K. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels," *IEEE International Conference on Communications*, 2003.
- [6] A. Bagheri, et al, "Energy detection based spectrum sensing over enriched multipath fading channels," In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2016.
- [7] E. Chatziantoniou, et al, "Energy detection based spectrum sensing over two-wave with diffuse power fading channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, pp. 868-874, 2016.
- [8] P. Avinash, R. Gandhiraj, and K. P. Soman, "Spectrum sensing using compressed sensing techniques for sparse multiband signals," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 3, pp. 1-5, 2012.
- [9] M. R. Manesh, et al, "Real-time spectrum occupancy monitoring using a probabilistic model," *Computer Networks*, vol. 124, pp. 87-96, 2017.
- [10] F. Salahdine, et al, "Matched filter detection with dynamic threshold for cognitive radio networks," *IEEE International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications*, 2015.
- [11] X. Zhang, X. Liu, H. Samani, and B. Jalaian, "Cooperative spectrum sensing in cognitive wireless sensor networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, pp. 1077-1092, 2015.
- [12] H. Oh and H. Nam, "Energy detection scheme in the presence of burst signals," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 26, pp. 582-586, 2019.
- [13] M. Zebarjadi and M. Teimouri, "Non-cooperative burst detection and synchronisation in downlink TDMA-based wireless communication networks," *IET Communications*, vol. 13, pp. 863-872, 2019.
- [14] C. Bektas, A. Akan, and N. Odabasioglu, "Energy based spectrum sensing using wavelet transform for fading channels," *IEEE International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, 2012.
- [15] K. Kuzume and T. Tabusa, "Dyadic lifting wavelet based signal detection," *3rd IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition*, 2016.
- [16] M. Teimouri, H. R. Kakaei Motlagh, and J. Garshasbi, "Blind Identification of Communications Networks in Service Layer," *Passive Defense journal*, vol. 10, pp. 91-101, 202.



شکل (۷): مقایسه ضریب دایس روش نسبت انرژی [۲] و تبدیل موجک برای برست کوتاه.



شکل (۸): مقایسه ضریب دایس روش نسبت انرژی [۲] و تبدیل موجک برای برست بلند.

از آنجایی که تعیین برست‌های موجود در سیگنال و تفکیک آن‌ها بر اساس فرستنده‌ها از اهمیت بالایی در سامانه‌های ارتباطی مبتنی بر این نوع انتقال سیگنال دارد، ترکیب دو روش نسبت انرژی و تبدیل موجک برای تشخیص ابتدا و انتهای برست‌ها و همچنین بررسی و استخراج اطلاعات شناسایی از آن‌ها به منظور جداسازی فرستنده‌ها می‌تواند زمینه تحقیقی آینده باشد.

۶- مراجع

- [1] M. Teimouri and H. Kakaei Motlagh, "Reverse engineering of communications networks: evolution and challenges," *arXiv preprint arXiv: 1704.05432*, 2017.