

## همزمان سازی کور برست های TDMA در محیط غیر همیار

مریم زبرجدی<sup>۱</sup>، کارشناسی ارشد؛ مهدی تیموری<sup>۲</sup>، استادیار

۱- دانشکده علوم و فنون نوین- دانشگاه تهران- تهران- ایران- m.zebarjad@ut.ac.ir

۲- دانشکده علوم و فنون نوین- دانشگاه تهران- تهران- ایران- mehditeimouri@ut.ac.ir

**چکیده:** شناسایی کور سیگنال در یک گیرنده هوشمند، از جمله ملزومات در سامانه های مخابراتی نوین محسوب می شود. به دلیل کاربرد گسترده ارتباطات مبتنی بر سیگنال های برست، آشکارسازی برست ها به مفهوم یافتن زمان ابتدا و انتهای آن ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله، روشی جدید برای همزمان سازی کور برست ها در شبکه های TDMA ارائه می گردد. با استفاده از الگوریتم تکراری پیشنهادی، موقعیت و طول برست های آشکار شده توسط آشکارساز نسبت انرژی به نزدیک ترین ساختار TDMA نگاشت می شود. علاوه بر معیار تشابه دایس، معیارهای خطای برست و خطای زمان محافظ (یا همان زمان سکوت) نیز برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی باعث افزایش دقت در آشکارسازی برست می گردد به طوری که در سیگنال به نویز بیش از ۲- دسی بل، حداکثر مقدار ممکن برای شباهت دایس قابل دسترس است.

**واژه های کلیدی:** شناسایی کور، همزمان سازی برست، آشکارساز برست.

## Blind Synchronization of TDMA Bursts in Non-Cooperative Environment

Maryam Zebarjadi<sup>1</sup>, M.Sc.; Mehdi Teimouri<sup>2</sup>, Assistant Professor

1- Faculty of New Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: m.zebarjad@ut.ac.ir

2- Faculty of New Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: mehditeimouri@ut.ac.ir

**Abstract:** Blind signal identification is one of the necessities of intelligent receivers. Since burst-mode signal transmission is widely used, burst detection, i.e. detecting the beginning and the end of bursts, is an important problem. In this paper, a new method is proposed for synchronization of bursts in TDMA-based networks. The proposed iterative algorithm maps the detection result of energy-ratio detector onto the nearest TDMA structure. In addition to Dice similarity coefficient, burst and silence errors are used to evaluate the proposed synchronization algorithm. Simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm in improving the accuracy of burst detection. As a result, the maximum synchronization accuracy is attainable for signal to noise ratios more than -2dB.

**Keywords:** blind identification, burst synchronization, burst detector.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۱

نام نویسنده مسئول: مهدی تیموری

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - خیابان کارگر شمالی - دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

## ۱- مقدمه

امروزه شناسایی کور سیگنال بخش جدایی‌ناپذیر از سیستم‌های مخابراتی هوشمند محسوب می‌شود [۱]. این سیستم‌ها اهمیت زیادی در زمینه‌های نظامی و تجاری دارند. برای این منظور روش‌های مختلفی جهت پردازش کور سیگنال در بخش‌های مختلف گیرنده از جمله آشکارسازی [۲] و همزمان‌سازی سیگنال، دمدولاسیون و دیکدینگ [۳] پیشنهاد شده و به‌کار گرفته می‌شوند.

با توجه به گسترش ارتباطات مبتنی بر برست، یکی از نیازمندی‌های مهم در این حوزه، طراحی آشکارساز کور برست می‌باشد. در ارتباطات مبتنی بر برست، کاربران مختلف اطلاعات خود را در قالب برست در شیارهای زمانی اختصاص‌یافته به خود ارسال می‌کنند. یکی از اولین مراحل در گیرنده آشکارسازی این برست‌ها است. آشکارسازی در این نوع ارتباط به مفهوم یافتن زمان دقیق ابتدا و انتهای برست‌ها و به دنبال آن زمان‌های سکوت است. اگرچه در زمینه آشکارسازی سیگنال پژوهش‌های بسیاری انجام شده است [۴]، [۵]، ولی آشکارسازی سیگنال‌های برست به مفهوم بیان‌شده در شرایط کور مورد توجه کمی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، در [۶] آشکارسازی کور سیگنال‌های برست به مفهوم تشخیص ابتدا و انتهای برست بررسی شده است.

آشکارسازی کور برست در محیط غیر همیار<sup>۲</sup>، با توجه به عدم اطلاع گیرنده از نوع سیگنال دریافتی، به‌مراتب سخت‌تر است. در چنین محیطی سیگنال دریافتی می‌تواند از شبکه‌ای از نوع TDMA<sup>۳</sup> با طول برست‌های یکسان (موضوع مورد بررسی این مقاله) و یا شبکه‌ای رقابتی با طول برست‌های متفاوت باشد. هم‌چنین این موضوع که طول برست‌ها نسبت به پنجره مورد استفاده برای آشکارسازی، کوتاه است یا بلند، برای گیرنده نامعلوم است. آشکارسازی تحت این شرایط در [۷] مورد بررسی قرار گرفته است. در مقاله مذکور پیشنهاد شده است که از دو آشکارساز با طول‌های پنجره متفاوت (یکی کوچک و دیگری بزرگ) استفاده شود. در این راستا، سه روش مرسوم آشکارسازی بر مبنای آشکارساز انرژی (ED<sup>۴</sup>)، آشکارساز نسبت بیشینه مقدار ویژه به کمینه مقدار آن (MMED<sup>۵</sup>) و آشکارساز خودهمبستگی (ACD<sup>۶</sup>) برای این کار پیاده‌سازی و با روش پیشنهادی نسبت انرژی (ERD<sup>۷</sup>) مقایسه شده‌اند.

با وجود دقت خوب آشکارسازهای پیشنهادی در [۷]، موقعیت برست‌ها در نهایت به‌صورت کاملاً دقیق به‌دست نمی‌آید و ممکن است برست‌ها با طول بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر از مقدار واقعی خود آشکار شوند. علاوه بر این تشخیص زمان شروع برست‌ها نیز می‌تواند دارای خطا باشد. لذا اگر برست‌های آشکار شده مستقیماً به دمدولاتور تحویل داده شوند، بیت‌های دمدوله‌شده توسط دمدولاتور در بهترین حالت دمدولاسیون تعدادی از بیت‌های ارسال را شامل نمی‌شوند زیرا بخشی از هر برست در تشخیص ابتدایی از دست رفته‌اند. در شرایط بدبینانه‌تر، ممکن است بیت‌های دمدوله‌شده تعدادی بیت غیرواقعی را نیز در خود

جای داده باشند. به‌عبارت دیگر، اگر بخشی از زمان‌های سکوت (که صرفاً حاوی نویز است) به‌عنوان قسمتی از برست‌ها جهت بازیابی اطلاعات تحویل دمدولاتور داده شود، اطلاعاتی آشکار می‌شود که در حقیقت هیچ‌گاه ارسال نشده است. با توجه به این مسائل، اهمیت انجام همزمان‌سازی کور قبل از دمدولاسیون واضح می‌گردد؛ بنابراین برای شناسایی کور برست در محیط غیر همیار، پس از آشکارسازی، مرحله همزمان‌سازی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱ را ببینید). توجه کنید که در سیستم‌های مخابراتی مرسوم، معمولاً بیت‌هایی اضافی (و یا الگوهای سیگنالی مشخصی) در برست‌ها قرار داده می‌شوند تا گیرنده برای همزمان‌سازی از آن‌ها استفاده نماید. با استفاده از چنین روشی گیرنده خودی می‌تواند به‌راحتی برای همزمان‌سازی اقدام نماید.

مروری بر روش‌های همزمان‌سازی در TDMA در [۸-۱۰] آورده شده است. از جمله کارهای اخیر در این زمینه نیز می‌توان به مراجع [۱۱-۱۳] اشاره نمود. در تمام این روش‌ها، حتی در شرایط اصطلاحاً کور که در آن الگوی همزمانی توسط فرستنده ارسال نمی‌شود، گیرنده از ساختار برست‌های TDMA دریافتی (یعنی طول هر برست و زمان محافظ<sup>۸</sup> بین برست‌ها) مطلع است. از آنجا که هدف این مقاله همزمان‌سازی کور در محیط غیرهمیار است شرایط متفاوت خواهد شد چراکه اطلاعاتی از ساختار سیگنال دریافتی در اختیار نیست و گیرنده می‌تواند با هر طولی از برست و زمان سکوت مواجه باشد. تا جایی که نویسندگان مقاله اطلاع دارند، تاکنون تحقیقی در این زمینه انجام نشده است.

در این مقاله روشی برای همزمان‌سازی برست‌ها در شبکه‌های TDMA پیشنهاد می‌شود. ایده این روش بر این مبنا است که در شبکه‌های TDMA، برست‌ها دارای طول یکسان و ساختاری منظم هستند. لذا، می‌توان از این آرایش منظم استفاده نمود و به همزمان‌سازی کور برست‌ها پرداخت. الگوریتم پیشنهادی الگوریتمی تکراری است که موقعیت و طول‌های برست آشکار شده را به نزدیک‌ترین ساختار TDMA نگاشت می‌کند. این الگوریتم پیشنهادی بر روی خروجی تمامی روش‌های مطرح‌شده در [۷] قابل اجرا است و می‌تواند عملکرد آشکارسازها را بهبود دهد. مشابه با [۷]، برای ارزیابی عملکرد همزمان‌سازی از سه معیار مختلف استفاده می‌شود: معیار تشابه دایس<sup>۹</sup>، معیارهای خطای برست و خطای زمان محافظ (یا همان زمان سکوت). نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی باعث افزایش دقت آشکارسازی برست در سیستم‌های مبتنی بر TDMA می‌گردد.

$$s_D(j) = W_D(j) \times r(j), \quad j = 1, \dots, N_s \quad (2)$$

اگر تابع موقعیت واقعی برست ها را با  $W_R$  نشان دهیم، سیگنال دریافتی را می توان به این صورت نیز نوشت:

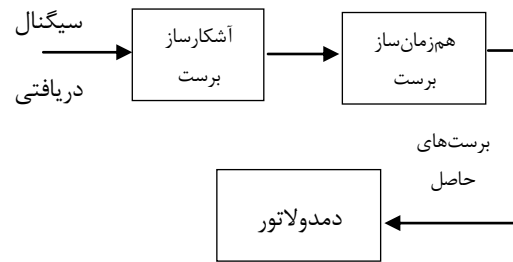
$$s_R(j) = r(j) = W_R(j) \times s(j) + n(j), \quad j = 1, \dots, N_s \quad (3)$$

بدیهی است که هر چه میزان شباهت  $W_R$  و  $W_D$  بیش تر باشد، آشکارسازی دقیق تر است. ضریب تشابه دایس معیاری است که شباهت دو مجموعه را می سنجد [۱۵]. از این رو در این مقاله پیشنهاد می شود برای سنجش عملکرد آشکارساز از معیار دایس ( $D$ ) استفاده نماییم. معیار  $D$  میزان شباهت دو سیگنال  $W_D$  و  $W_R$  را می سنجد. در شکل ۲ مثالی از آشکارسازی  $W_D$  در مقایسه با  $W_R$  نشان داده شده است. میزان شباهت دایس می توان به صورت رابطه (۴) نشان داد.

$$D(W_R, W_D) = \frac{\sum_{j=0}^{N_s-1} W_R(j) W_D(j)}{N_s} + \frac{\sum_{j=0}^{N_s-1} (1 - W_R(j))(1 - W_D(j))}{N_s} \quad (4)$$

هر چه میزان شباهت دو سیگنال بیش تر باشد، مقدار  $D$  به یک نزدیک تر می شود و در صورت منطبق بودن دو سیگنال مقدار  $D$  برابر یک می شود. زمانی که آشکارساز قادر به آشکارسازی نباشد میزان  $D$  به میزان درصد اشغال کانال توسط کاربران بستگی دارد. برای مثال اگر در  $N_s = 100$  تعداد نمونه های برست به صورت  $n_B = 70$  باشد و آشکارساز  $W_D(j) = 0$  را نشان دهد، داریم  $D = 0.3$ .

ضریب تشابه دایس اگرچه معیار خوبی برای ارزیابی دقت آشکارساز است، ولی برای مقایسه آشکارسازها کافی نیست. برای روشن تر شدن موضوع سیگنال برستی را در نظر می گیریم که دارای زمان های محافظ خیلی کوتاه و زمان های برست طولانی باشد. در این صورت یکی از حالت های آشکارسازی می تواند این باشد که آشکارساز موقعیت برست ها را تشخیص دهد ولی قادر به شناسایی زمان های محافظ نباشد. در این حالت به دلیل تعداد نمونه های زیاد برست، میزان دایس بالا خواهد بود. علاوه بر این در حالت کلی هم ممکن است آشکارسازی طول برست ها را بزرگ تر و یا کوچک تر از مقدار واقعی نشان دهد. در این حالت نیز معیار دایس نمی تواند به تنهایی وضعیت را ارزیابی نماید. مشابه [۷]، در این مقاله نیز برای بررسی این موضوع دو خطای  $E_B$  و  $E_G$  در نظر گرفته می شوند.  $E_B$  یا خطای برست از حاصل تقسیم تعداد نمونه های برستی که به اشتباه نویز تشخیص داده شده اند بر کل تعداد نمونه های برست به دست می آید.  $E_G$  یا خطای زمان محافظ (یا خطای زمان سکوت) نیز از حاصل تقسیم تعداد نمونه های صرفاً نویزی که به اشتباه به عنوان نمونه های برست تشخیص داده شده اند بر کل تعداد نمونه های صرفاً نویز به دست می آید. هم چنین بدون توجه به برست یا صرفاً نویز بودن نمونه ها، می توان تعداد نمونه هایی را که اشتباه تشخیص داده شده اند (صرفاً نویز به عنوان برست و یا برست به عنوان صرفاً نویز) بر تعداد کل نمونه های دریافتی  $N_s$  تقسیم کرد و خطای کلی آشکارساز را محاسبه نمود [۱۶]. با



شکل ۱: سیستم پیشنهادی بازیابی کور برست های TDMA در محیط غیر همیار

ساختار مقاله به این شرح است. در ادامه و در بخش دوم، ابتدا مدل سیگنال ارائه و روش های مختلف ارزیابی آشکارساز سیگنال بررسی می گردد. در بخش سوم، الگوریتم همزمان سازی پیشنهادی ارائه می شود. در بخش چهارم با ارائه نتایج شبیه سازی عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می گیرد. در پایان و در بخش پنجم نیز نتیجه گیری انجام خواهد شد.

## ۲ مدل سیگنال

همان طور که در مقدمه اشاره شد در ارتباطات مبتنی بر برست هر کاربر، برست اطلاعات مربوط به خود را در یک بازه زمانی ارسال می کند و برست ها توسط زمان های محافظ (یا سکوت) از یکدیگر مجزا می شوند. مدل سیگنال برست دریافتی را می توان با تعمیم مدل معرفی شده برای سیگنال گذرا در [۱۴] بیان نمود. اگر تعداد نمونه های موجود در برست  $i$  ام برابر  $n_B(i)$  باشد و تعداد نمونه های موجود در بازه مشاهده برابر  $N_s$  در نظر گرفته شود، می توان سیگنال برست دریافتی را که شامل  $M$  برست است به صورت:

$$r(j) = \begin{cases} s(j) + n(j) & \text{for } \sum_{i=1}^M n_B(i) \text{ samples} \\ n(j) & \text{for } N_s - \sum_{i=1}^M n_B(i) \text{ samples} \end{cases} \quad (1)$$

نمایش داد که  $s(j)$  سیگنال ارسالی و  $n(j)$  نویز گوسی سفید است. سیگنال دریافتی می تواند سیگنال حقیقی در فرکانس رادیویی و یا سیگنال مختلط معادل باند پایه باشد. اگر در رابطه (۱) مقدار  $M = 1$  و نمونه های  $n_B(1)$  به صورت متوالی در نظر گرفته شوند به حالت خاص مدل سیگنال گذرا می رسمیم. برای حالت خاص TDMA بدیهی است که مقدار  $n_B(i)$  برای همه برست ها یکسان و برابر مقدار  $n_B$  است.

هدف در آشکارسازی برست های TDMA، یافتن مقدار  $n_B$  و همچنین موقعیت دقیق هر برست در بازه مشاهده است. موقعیت برست ها را می توان توسط یک تابع دودویی  $1$  نشان داد [۷]. به این صورت که برای نمونه های واقع در برست مقدار یک و برای نمونه های صرفاً نویز مقدار صفر در نظر گرفته می شود. در این مقاله تابع  $W_D$  برای نشان دادن موقعیت برست های آشکار شده توسط آشکارساز استفاده می شود؛ بنابراین سیگنال آشکار شده  $s_D$  را می توان به صورت رابطه (۲) نمایش داد.

تعیین می‌شوند. با توجه به این که همزمان‌سازی به صورت کور انجام می‌شود، تنها توابع آشکارسازی اولیه در اختیار همزمان‌ساز قرار می‌گیرد و همزمان‌ساز فرض می‌کند که فرستنده از روش ارسال TDMA استفاده می‌کند. با استفاده از یک الگوریتم تکراری، می‌توان نزدیک‌ترین ساختار منظم  $W_D$  به  $W_S$  یافت. برای یافتن نزدیک‌ترین ساختار منظم به  $W_D$  از معیارهای مختلفی می‌توان استفاده نمود. در این مقاله ما از معیار تشابه دایس استفاده می‌کنیم.

برای توصیف یک ساختار ارسال برست مبتنی بر TDMA می‌توان از سه پارامتر استفاده نمود: ۱- یکی از زمان‌های شروع برست که با  $t_s$  نمایش داده می‌شود، ۲- طول شیار زمانی TDMA که با  $T_U$  نمایش داده می‌شود و ۳- طول برست  $n_B$  که با  $T_B$  نمایش داده می‌شود (واضح است که  $T_B < T_U$ ). الگوریتم تکراری پیشنهادی با شروع از یک مجموعه سه پارامتری اولیه و طی یک فرایند تکراری تغییر پارامترها، نزدیک‌ترین ساختار TDMA به  $W_D$  را می‌یابد. برای به دست آوردن تخمین اولیه از سه پارامتر مورد نظر الگوریتم به این صورت عمل می‌کنیم. از میان  $n_B(i)$  های مشخص شده توسط  $W_D$ ، مقداری که بیش‌ترین فراوانی را دارد به عنوان طول برست اولیه ( $T_B^{(0)}$ ) انتخاب می‌شود. واضح است که با افزایش نسبت سیگنال به نویز ( $SNR^{11}$ ) این مقدار به طول واقعی برست‌ها بسیار نزدیک می‌شود. همچنین، زمان ابتدای مربوط به اولین برست دارای طول  $T_B^{(0)}$  را به عنوان  $t_s^{(0)}$  در نظر می‌گیریم. برای یافتن  $T_U^{(0)}$  نیز به این شکل عمل می‌کنیم. با استفاده از دو مقدار  $T_B^{(0)}$  و  $t_s^{(0)}$  و به‌ازای مقادیر مختلف  $T_U$  یک ساختار منظم از شیارهای زمانی TDMA را در نظر می‌گیریم. در هر شیار زمانی که بیش از نیمی از  $T_B^{(0)}$  نمونه متناظر در  $W_{D2}$  به عنوان نمونه برست (سیگنال همراه با نویز) تشخیص داده شده است، فرض می‌کنیم برستی به طول  $T_B^{(0)}$  حضور دارد (متناظر با مقدار یک برای تابع آشکارسازی  $W_S$ )، در غیر این صورت فرض می‌کنیم آن شیار زمانی خالی است (متناظر با مقدار صفر برای تابع آشکارسازی  $W_S$ ). مقدار  $T_U$  متناظر با شبیه‌ترین ساختار TDMA به  $W_D$  (با معیار تشابه دایس) را به عنوان  $T_U^{(0)}$  در نظر می‌گیریم. توجه کنید که برای تعیین شیارهای زمانی فعال از  $W_{D2}$  استفاده نموده‌ایم. دلیل این موضوع این است که طول پنجره بزرگ‌تر در تولید  $W_{D2}$  باعث می‌شود احتمال از دست رفتن اسلات‌های زمانی فعال در آشکارسازی بسیار کاهش یابد.

فرایند تکراری الگوریتم به این شکل است: در هر تکرار سه قدم وجود دارد. در هر قدم، با ثابت نگاه‌داشتن دو پارامتر از سه پارامتر و تغییر پارامتر سوم، بهترین مقدار جدید برای پارامتر سوم انتخاب می‌شود. این فرایند تا زمانی تکرار می‌شود که تغییری در سه پارامتر ایجاد نشود. روش پیشنهادی در الگوریتم ۱ تشریح شده است.

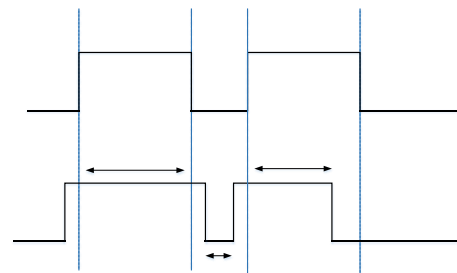
#### الگوریتم ۱: الگوریتم همزمان‌سازی برست

ورودی‌ها: توابع  $W_D$  و  $W_{D2}$

خروجی‌ها: پارامترهای  $T_B$ ،  $T_U$  و  $t_s$  به همراه تابع  $W_S$

داشتن معیار دایس و دو خطای  $E_G$  و  $E_B$  می‌توان عملکرد یک آشکارساز و سنجش  $W_D$  در مقایسه با  $W_R$  را به خوبی تحلیل نمود.

واضح است که هدف آشکارساز برست در شکل ۱، به دست آوردن  $W_D$  است. در [۷] برای به دست آوردن  $W_D$ ، چهار روش مطرح و مقایسه شده‌اند. در سه روش خودهمبستگی، انرژی و مقادیر ویژه با لغزاندن یک پنجره در طول سیگنال به ترتیب مقدار خودهمبستگی، انرژی و نسبت بیشینه مقدار ویژه به کمینه مقدار ویژه برای نمونه‌های درون پنجره به عنوان معیار آشکارسازی محاسبه می‌شوند. اگر مقدار به دست آمده برای معیار آشکارسازی بیشتر از یک آستانه مشخص باشد، نمونه متناظر با پنجره فعلی در  $W_D$  مقدار یک خواهد گرفت. در غیر این صورت، مقدار صفر به نمونه متناظر با پنجره فعلی اختصاص خواهد یافت. در روش نسبت انرژی نیز دو پنجره متصل به هم برای یافتن نقاط ابتدا و انتهای برست در طول سیگنال لغزاندن می‌شوند. روش آشکارسازی نیز به این شکل است که بیشینه نسبت انرژی این دو پنجره بیانگر محل ابتدا و یا انتهای برست می‌باشد. از آنجا که در شبکه TDMA برست‌ها دارای طول یکسان و ساختار منظم هستند، در بخش همزمان‌سازی هدف نگاشت  $W_D$  به نزدیک‌ترین ساختار TDMA است. در چنین ساختار منظمی، فاصله بین زمان شروع برست‌های متوالی، مضربی صحیح از یک زمان مشخص است. این زمان مشخص همان طول شیار زمانی TDMA است. این ساختار TDMA را با  $W_S$  نشان می‌دهیم. بدیهی است که هر چه میزان شباهت  $W_S$  و  $W_R$  بیشتر باشد، همزمان‌سازی دقیق‌تر است. در بخش بعد، الگوریتم پیشنهادی برای همزمان‌سازی برست و یافتن  $W_S$  ارائه خواهد شد.



شکل ۲: مقایسه توابع  $W_R$  (بالا) و  $W_D$  (پایین)

#### ۳- الگوریتم همزمان‌سازی پیشنهادی

برای آشکارسازی اولیه، از آنجا که در حالت غیر همیار اطلاعات دقیقی از طول برست و زمان محافظ در اختیار نیست، مانند [۷] پیشنهاد می‌کنیم که از دو طول پنجره متفاوت کوچک و بزرگ استفاده شده و حاصل ضرب آشکارسازی‌های انجام شده توسط این دو پنجره به عنوان آشکارسازی اولیه در نظر گرفته شود. در [۷] نشان داده شده است که اگر حاصل ضرب آشکارسازی‌ها با طول پنجره کوچک ( $W_{D1}$ ) و طول پنجره بزرگ ( $W_{D2}$ ) به عنوان تابع آشکارسازی ( $W_D$ ) در نظر گرفته شود، در حالت کلی عملکرد بهتری در آشکارساز اولیه داریم. این دو طول پنجره در حقیقت توسط حدود بالا و پایین بر روی طول برست

مقداردهی اولیه:  $i = 1$

۹- پارامترهای خروجی به این صورت تعیین می‌شوند:  $T_U = T_U^{(i)}$ ،  $t_s = t_s^{(i)}$  و  $T_B = T_B^{(i)}$

تخمین پارامترهای اولیه:

در شکل ۳، مثالی از نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای همزمان‌سازی نشان داده شده است. در این شکل، ابتدا سیگنال دریافتی که شامل ۵ برست مدوله‌شده توسط مدولاسیون QPSK و شکل پالس Raised-Cosine است، نمایش داده شده است. این سیگنال با نرخ ۱۰ نمونه بر سَمبل و در نسبت سیگنال به نویز  $-2\text{dB}$  نمونه‌برداری شده است. برست‌ها نیز دارای طولی شامل ۴۰ بیت اطلاعات هستند. زمان محافظ نیز معادل ۲ بیت در نظر گرفته شده است.  $W_{D1}$  حاصل آشکارسازی نسبت انرژی پیشنهادی در  $[V]$  با طول پنجره معادل ۱۰ بیت است که به دلیل طول پنجره کوچک تغییرات بیشتری را در طول سیگنال نشان می‌دهد. در حقیقت، همان‌طور که ملاحظه می‌شود این پنجره بخشی از تغییرات در طول نویز را هم به‌عنوان برست آشکار کرده است.  $W_{D2}$  نیز حاصل آشکارسازی با طول پنجره معادل ۲۰۰ بیت را نشان می‌دهد. این آشکارسازی حضور هیچ برستی را از دست نداده است، ولی در مقابل هیچ زمان سکوتی را بین برست‌های متوالی تشخیص نداده است. حاصل ضرب این دو آشکارسازی نیز با  $W_D$  نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برست‌های  $W_D$  در مقایسه با  $W_{D1}$  و  $W_{D2}$  شباهت ظاهری بیشتری به برست‌های  $W_R$  دارند. ضریب تشابه دایس برای  $W_{D1}$  و  $W_{D2}$  به ترتیب برابر  $0.82$  و  $0.96$  است. این مقدار برای  $W_D$  برابر  $0.91$  است. توجه کنید که هرچند مقدار ضریب تشابه دایس برای  $W_{D2}$  بالا است، اما باید توجه کرد که  $W_{D2}$  زمان‌های محافظ را تشخیص نداده است و خطای سکوت یا  $E_G$  غیر صفر دارد. به همین دلیل استفاده از  $W_{D2}$  برای تعیین شیارهای زمانی فعال در ساختار TDMA مناسب‌تر است؛ بنابراین از  $W_D$  و  $W_{D2}$  به‌عنوان ورودی‌های الگوریتم استفاده شده است. در ابتدا باید از میان طول‌های برست  $W_D$ ، طول برستی را که دارای بیش‌ترین فراوانی است به‌عنوان  $T_B^{(0)}$  انتخاب کرد. مجموعه طول برست‌ها عبارت‌اند از  $\{207, 199, 202, 200, 37\}$ . لذا، طول برست ۲۰۰ به‌عنوان  $T_B^{(0)}$  و زمان ابتدای آن به‌عنوان  $t_s^{(0)}$  در نظر گرفته می‌شود. حال برای  $T_U$  بازه  $[240-202]$  (از  $1.01 \times T_B^{(0)}$  تا  $1.20 \times T_B^{(0)}$ ) حاصل می‌شود و برای این مقادیر مختلف و به ازای  $T_B^{(0)}$  و  $t_s^{(0)}$  مشخص، ساختارهای منظم TDMA را در نظر می‌گیریم. برای تعیین این موضوع که در کدام شیارهای زمانی متعلق به این ساختار منظم، برستی ارسالی شده است، از  $W_{D2}$  استفاده می‌شود. روش کار به این صورت است که اگر در هر شیار زمانی بیش از  $T_B^{(0)} / 2$  (در اینجا ۱۰۰) نمونه متناظر در  $W_{D2}$  به‌عنوان نمونه برست تشخیص داده شده باشند، فرض می‌کنیم برستی به طول  $T_B^{(0)}$  حضور دارد. مقداری از  $T_U$  که منجر به بیش‌ترین شباهت (با معیار تشابه دایس) بین  $W_D$  و  $W_S$  می‌شود،

۱- از میان  $n_B(i)$  های مشخص‌شده توسط  $W_D$ ، مقدار میانه به‌عنوان طول برست اولیه ( $T_B^{(0)}$ ) انتخاب می‌شود.  
 ۲- زمان ابتدای مربوط به اولین برست دارای طول  $T_B^{(0)}$  را به‌عنوان  $t_s^{(0)}$  در نظر می‌گیریم.  
 ۳- با استفاده از دو مقدار  $T_B^{(0)}$  و  $t_s^{(0)}$  و به‌ازای مقادیر مختلف  $T_U$  (از  $1.01 \times T_B^{(0)}$  تا  $1.20 \times T_B^{(0)}$ )، ساختاری منظم از شیارهای زمانی TDMA را در نظر می‌گیریم. در هر شیار زمانی که بیش از نیمی از  $T_B^{(0)}$  نمونه متناظر در  $W_{D2}$  به‌عنوان نمونه برست تشخیص داده شده است، فرض می‌کنیم برستی به طول  $T_B^{(0)}$  حضور دارد (متناظر با مقدار یک برای تابع آشکارسازی  $W_S$ )، در غیر این صورت فرض می‌کنیم آن شیار زمانی خالی است (متناظر با مقدار صفر برای تابع آشکارسازی  $W_S$ ). مقدار  $T_U$  متناظر با شبیه‌ترین ساختار TDMA به  $W_D$  را به‌عنوان  $T_U^{(0)}$  در نظر می‌گیریم. همچنین ساختار TDMA حاصل را در تابع دودویی  $W_S$  ذخیره می‌کنیم.

الگوریتم تکراری تصحیح پارامترها:

۴- سه مقداردهی  $T_U^{(i)} = T_U^{(i-1)}$ ،  $T_B^{(i)} = T_B^{(i-1)}$  و  $t_s^{(i)} = t_s^{(i-1)}$  را انجام می‌دهیم.  
 ۵- به‌ازای مقادیر ثابت  $T_U = T_U^{(i)}$  و  $t_s = t_s^{(i)}$ ، با تغییر  $T_B$  از  $0.80 \times T_U$  تا  $0.99 \times T_U$  ساختارهای مختلف شیارهای زمانی TDMA را تولید می‌کنیم. برای تعیین شیارهای فعال از  $W_{D2}$  استفاده می‌کنیم. مقدار  $T_B$  متناظر با شبیه‌ترین ساختار TDMA به  $W_D$  را به‌عنوان  $T_B^{(i)}$  در نظر می‌گیریم. همچنین ساختار TDMA حاصل را در تابع دودویی  $W_S$  ذخیره می‌کنیم.  
 ۶- به‌ازای مقادیر ثابت  $T_U = T_U^{(i)}$  و  $T_B = T_B^{(i)}$ ، با تغییر  $t_s$  از  $t_s^{(i)} - 0.5 \times T_B^{(i)}$  تا  $t_s^{(i)} + 0.5 \times T_B^{(i)}$  ساختارهای مختلف شیارهای زمانی TDMA را تولید می‌کنیم. برای تعیین شیارهای فعال از  $W_{D2}$  استفاده می‌کنیم. مقدار  $t_s$  متناظر با شبیه‌ترین ساختار TDMA به  $W_D$  را به‌عنوان  $t_s^{(i)}$  در نظر می‌گیریم. همچنین ساختار TDMA حاصل را در تابع دودویی  $W_S$  ذخیره می‌کنیم.  
 ۷- به‌ازای مقادیر ثابت  $T_B = T_B^{(i)}$  و  $t_s = t_s^{(i)}$ ، با تغییر  $T_U$  از  $1.01 \times T_B$  تا  $1.20 \times T_B$  ساختارهای مختلف شیارهای زمانی TDMA را تولید می‌کنیم. برای تعیین شیارهای فعال از  $W_{D2}$  استفاده می‌کنیم. مقدار  $T_U$  متناظر با شبیه‌ترین ساختار TDMA به  $W_D$  را به‌عنوان  $T_U^{(i)}$  در نظر می‌گیریم. همچنین ساختار TDMA حاصل را در تابع دودویی  $W_S$  ذخیره می‌کنیم.  
 ۸- اگر سه تساوی  $T_U^{(i)} = T_U^{(i-1)}$ ،  $T_B^{(i)} = T_B^{(i-1)}$  و  $t_s^{(i)} = t_s^{(i-1)}$  برقرار بود به مرحله ۹ می‌رویم. در غیر این صورت مقداردهی  $i = i + 1$  را انجام داده و به مرحله ۴ می‌رویم.

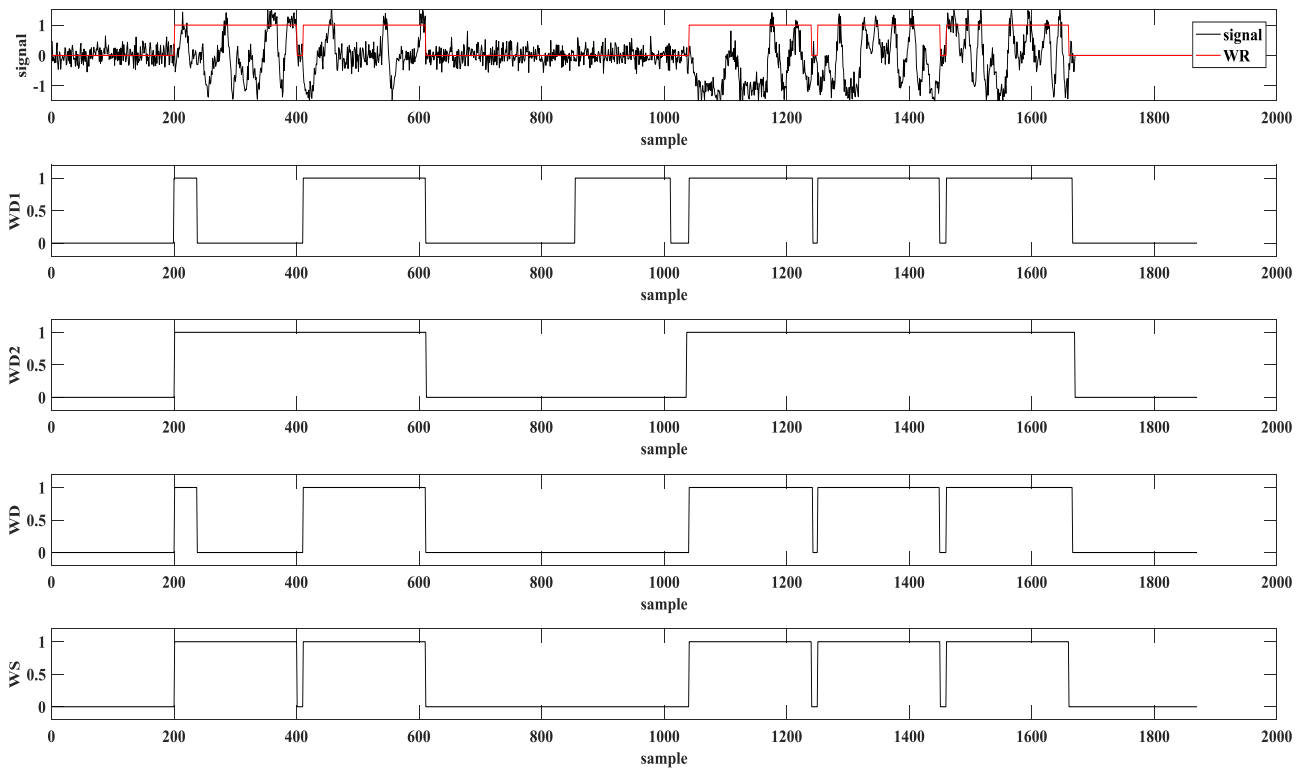
را مورد آزمایش قرار می‌دهیم. در سناریوی اول برست‌ها حاوی ۴۰ بیت اطلاعات (معادل ۲۰۰ نمونه) هستند و طول زمان محافظ هم ۲ بیت (معادل ۱۰ نمونه) در نظر گرفته می‌شود. در سناریوی دوم برست‌ها حاوی ۲۰۰ بیت اطلاعات (معادل ۱۰۰۰ نمونه) و طول زمان‌های محافظ ۶ بیت (معادل ۳۰ نمونه) هستند. عملکرد هم‌زمان‌سازی را برای بازه نسبت سیگنال به نویز از ۶- تا ۶ دسی‌بل و با استفاده شبیه‌سازی مونت‌کارلو مورد آزمایش قرار می‌دهیم. به‌طور دقیق‌تر، در هر سناریو و برای هر مقدار مشخص از نسبت سیگنال به نویز ۱۰۰۰ آزمایش انجام شده است.

ابتدا نتایج هم‌زمان‌سازی برای سناریوی اول را مورد بررسی قرار می‌دهیم. آشکارساز نسبت انرژی را به‌عنوان آشکارساز اولیه در نظر می‌گیریم. در پیاده‌سازی آشکارسازی نسبت انرژی از دو طول پنجره کوچک و بزرگ به ترتیب برابر  $L_1 = 10$  و  $L_2 = 200$  (برحسب نمونه) استفاده می‌شود. در شکل ۴ نتایج شبیه‌سازی برای سناریوی اول نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان دایس  $W_s$  نسبت به  $W_D$  بهبود چشمگیری یافته است. به‌طوری که درصد دایس در نسبت سیگنال به نویز ۲- دسی‌بل به عدد ۱ بسیار نزدیک است و در نسبت سیگنال به نویزهای پس از آن به مقدار ۱ رسیده است. این به معنی بهبود بسیار مناسب عملکرد آشکارساز توسط هم‌زمان‌سازی است.

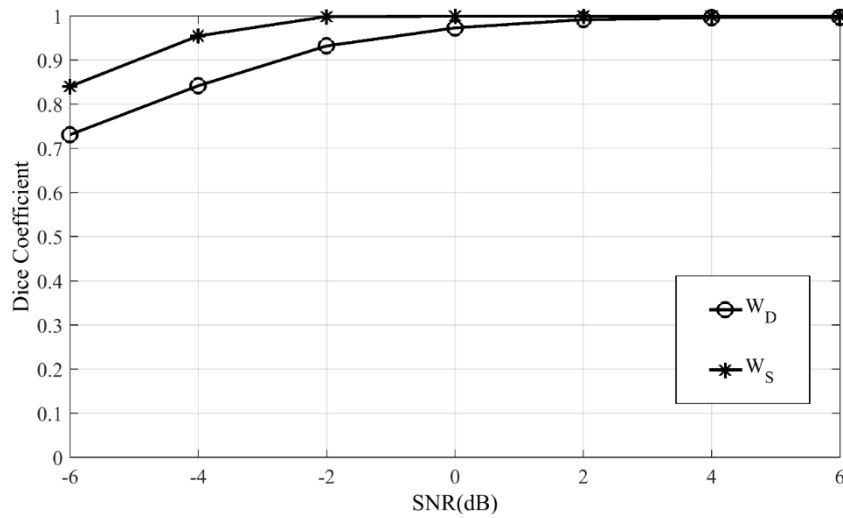
به‌عنوان  $T_U^{(0)}$  انتخاب می‌شود. در مثال شکل ۳، این مقدار برابر ۲۱۱ به‌دست می‌آید. پس از ذخیره  $W_s$ ، با مقدار اولیه  $i = 1$  وارد یک حلقه تکراری می‌شویم. در این حلقه ابتدا مقادیرهای  $T_U^{(i)} = T_U^{(i-1)}$ ،  $T_B^{(i)} = T_B^{(i-1)}$  و  $t_s^{(i)} = t_s^{(i-1)}$  انجام می‌شود. سپس با استفاده از روش مشابه روش تعیین  $T_U^{(0)}$ ، با استفاده از مقادیر ثابت  $t_s^{(0)}$  و  $T_U^{(0)}$  و تغییر مقادیر  $T_B$ ، مقدار جدید  $T_B^{(i)}$  تعیین می‌شود. به همین ترتیب به‌روزرسانی مقدار  $t_s^{(i)}$  و همچنین مقدار  $T_U^{(i)}$  انجام می‌شود. تکرار تا حدی صورت می‌گیرد که تغییری در مقادیر  $t_s^{(i)}$ ،  $T_U^{(i)}$  و  $T_B^{(i)}$  صورت نگیرد. در مثال شکل ۳، این مقادیر به ترتیب برابر ۲۰۱، ۲۰۰ و ۲۱۰ به دست می‌آیند. خروجی الگوریتم هم‌زمان‌سازی (همان  $W_s$ ) در شکل ۳ نشان داده شده است. میزان تشابه دایس این خروجی با  $W_R$  برابر ۱ است.

#### ۴- نتایج و بحث

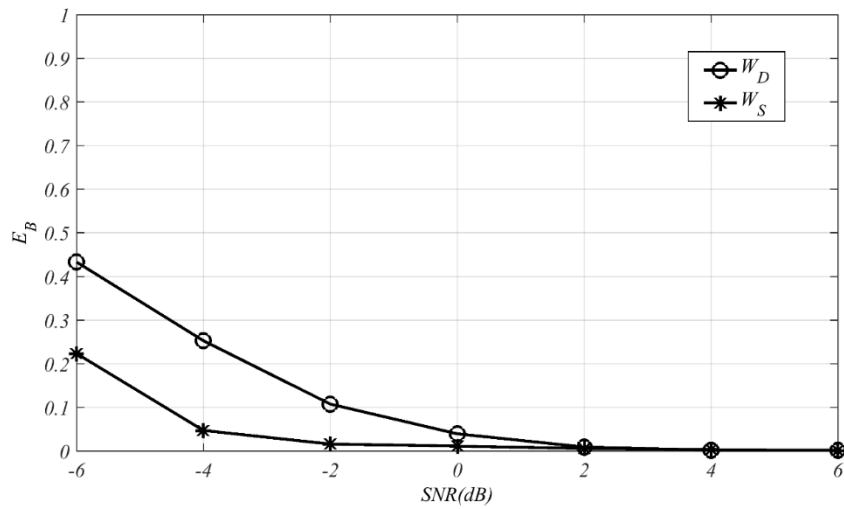
برای انجام شبیه‌سازی‌ها یک سیگنال TDMA شامل  $M = 10$  برست تولید می‌شود. برست‌ها با مدولاسیون QPSK و شکل پالس Raised-Cosine مدوله شده‌اند. فرض می‌شود که سیگنال دریافتی با نرخ ۱۰ نمونه بر سمبل مدولاسیون نمونه‌برداری شده است. میزان اشغال کانال نیز برابر ۷۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی عملکرد هم‌زمان‌سازی دو سناریوی مختلف طول برست کوتاه و طول برست بلند



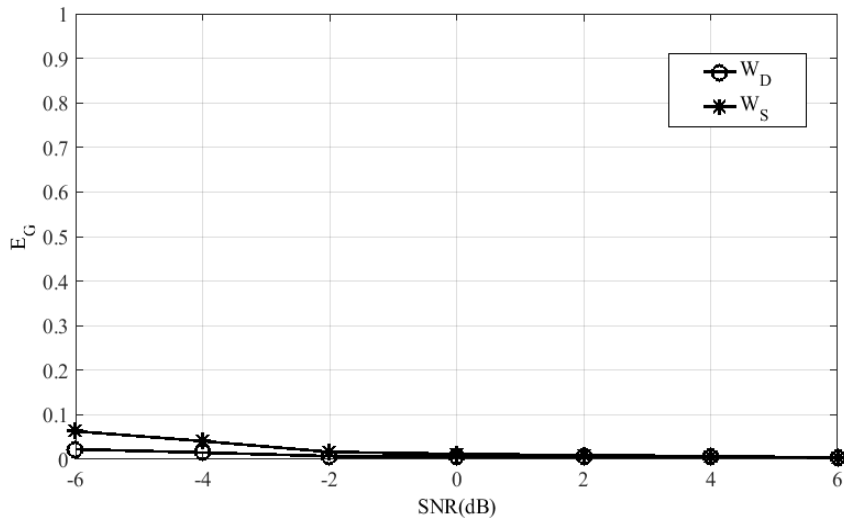
شکل ۳: مثالی از نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی همزمان سازی



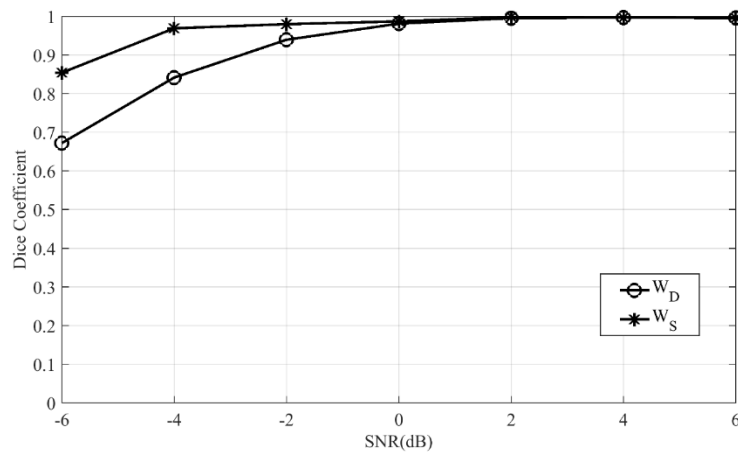
شکل ۴: عملکرد همزمان ساز برای طول های پرست کوتاه بر روی آشکارساز نسبت انرژی



شکل ۵: میزان خطای برست برای طول‌های برست کوتاه و با استفاده از آشکارساز نسبت انرژی

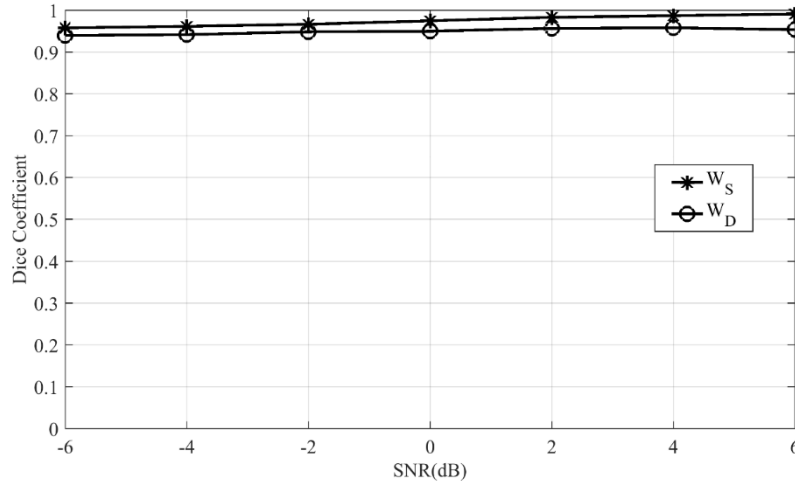


شکل ۶: میزان خطای زمان سکوت برای طول‌های برست کوتاه و با استفاده از آشکارساز نسبت انرژی

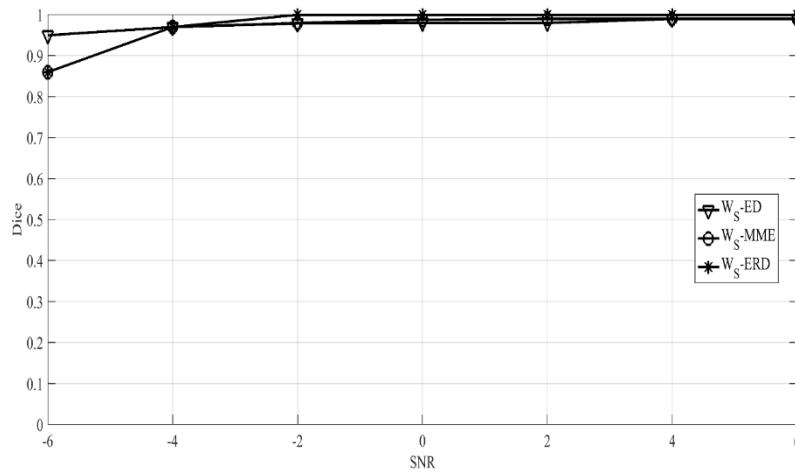


شکل ۷: عملکرد همزمان‌سازی برای طول‌های برست کوتاه با استفاده از آشکارساز مقادیر ویژه





شکل ۸: عملکرد همزمان‌سازی برای طول‌های برست کوتاه با استفاده از آشکارساز انرژی



شکل ۹: مقایسه عملکرد همزمان‌سازی برای طول‌های برست کوتاه بر روی آشکارسازهای مختلف

جدول ۱: عملکرد همزمان‌سازی برای طول‌های برست بلند بر روی آشکارساز نسبت انرژی

تابع	SNR (dB)	SNR (dB)						
		-6	-4	-2	0	2	4	6
$W_D$	$\mathcal{D}$	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۹۸۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹
	$E_G$	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	$E_B$	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۰۲	۰	۰	۰
$W_S$	$\mathcal{D}$	۰/۷۵	۰/۹۵	۱	۱	۱	۱	۱
	$E_G$	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰	۰	۰	۰
	$E_B$	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰

شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با استفاده از الگوریتم همزمان‌سازی پیشنهادی خطای برست به‌میزان قابل‌توجهی کاهش

علاوه بر میزان دایس برای ارزیابی دقیق عملکرد همزمان‌سازی از دو معیار خطای برست و خطای زمان سکوت نیز استفاده می‌کنیم. میزان خطای برست در شکل ۵ و خطای زمان سکوت در شکل ۶ نمایش داده

- [۲] مهدی تیموری، «آشکارسازی سیگنال لینک ۱۶»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۶، شماره ۴، ص. ۸۴-۸۷، ۱۳۹۵.
- [۳] مهدی تیموری، حمید رضا کاکایی مطلق و مرتضی حدادی، «شناسایی کور کدهای ضریب BCH»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۷، شماره ۱، ص. ۴۹-۵۴، ۱۳۹۶.
- [4] B. Wang and K. R. Liu, "Advances in cognitive radio networks: A survey," *IEEE Journal of selected topics in signal processing*, vol. 5, pp. 5-23, 2011.
- [5] T. Yücek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 11, pp. 116-130, 2009.
- [6] S. Dan, X. Xiaojian, and W. Jing, "A novel presence detector for burst signals based on the fluctuation of the correlation function," in *2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing (ICSP)*, pp. 1628-1631, 2010.
- [۷] مریم زبرجدی و مهدی تیموری، «آشکارسازی کور سیگنال‌های برست در محیط غیر همیار»، پذیرفته‌شده برای چاپ در *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*.
- [8] C. Carter, "Survey of synchronization techniques for a TDMA satellite-switched system," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, pp. 1291-1301, 1980.
- [9] P. P. Nuspl, K. E. Brown, W. Steenaart, and B. Ghicopoulos, "Synchronization methods for TDMA," *Proceedings of the IEEE*, vol. 65, pp. 434-444, 1977.
- [10] F. Faris, T. Inukai and S. Sayegh, "Modulation and synchronization technique for MF-TDMA system," Contract. No. NAS3-25933, Comsat Laboratories, 28 January 1994.
- [11] V. K. Oduol and C. Ardil, "Frame and burst acquisition in tdma satellite communication networks with transponder hopping," *Int. Journal of Electronics, Communication and Computer Engineering*, vol. 1, pp. 142-147, 2009.
- [12] Lennvall, Tomas, et al. "A new wireless sensor network TDMA timing synchronization protocol," in *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2016, pp. 606-611.
- [13] Purushothaman, Bipsa, et al. "Synchronization of TDMA bursts with short preamble for satellite receiver," in *2016 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, pp. 1-6, 2016.
- [14] T.-f. HAN and W.-d. CHEN, "Transient Signal Detection Using Higher Order Moments," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 2, pp. 515-520, 1999.
- [15] L. R. Dice, "Measures of the amount of ecologic association between species," *Ecology*, vol. 26, pp. 297-302, 1945.
- [16] Y.-J. Yuan, X. Wang, Z.-T. Huang, and Z.-C. Sha, "Detection of radio transient signal based on permutation entropy and GLRT," *Wireless Personal Communications*, vol. 82, pp. 1047-1057, 2015.

یافته است. خطای زمان سکوت نیز با افزایش سیگنال به نويز کاهش یافته و در حدود صفر دسی‌بل به صفر نزدیک می‌شود.

در جدول ۱، عملکرد همزمان‌ساز برای طول‌های برست بلند نمایش داده شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، همانند همزمان‌سازی برای طول‌های برست کوتاه، میزان ضریب تشابه دایس برای  $W_s$  در مقایسه با  $W_D$  بهبود قابل‌توجهی داشته است. علاوه بر این میزان خطاها نیز طبق انتظار کاهش یافته است.

بدیهی است که الگوریتم همزمان‌سازی پیشنهادی بر روی سایر روش‌های آشکارسازی نیز قابل اجرا است. در شکل ۷ نتیجه اعمال الگوریتم همزمان‌سازی بر روی آشکارساز مقادیر ویژه نشان داده شده است. همچنین در شکل ۸ نتیجه اعمال الگوریتم همزمان‌سازی بر روی آشکارساز انرژی نمایش داده شده است. در پیاده‌سازی این دو روش نیز از دو طول پنجره کوچک و بزرگ به ترتیب برابر  $L_1 = 10$  و  $L_2 = 200$  (برحسب نمونه) استفاده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در تمامی حالت‌ها، الگوریتم همزمان‌سازی قادر به بهبود عملکرد آشکارساز به میزان قابل‌توجهی می‌باشد. در نتیجه اعمال الگوریتم همزمان‌سازی بر روی روش‌های مختلف آشکارسازی با یکدیگر مقایسه شده است. مشاهده می‌شود که اجرای همزمان‌سازی بر روی خروجی تمام روش‌ها باعث فراهم شدن دقت بسیار خوبی می‌شود. باین‌حال، همان‌طور که ملاحظه می‌شود همزمان‌سازی بر روی آشکارساز نسبت انرژی سریع‌تر به مقدار ضریب تشابه دایس ۱ رسیده است.

## ۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله همزمان‌سازی کور سیگنال‌های برست در شبکه‌های TDMA مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از اعمال الگوریتم همزمان‌سازی پیشنهادی بعد از آشکارساز اولیه، سیستمی پیشنهاد شده است که می‌تواند موقعیت برست‌ها را با دقت بسیار بالایی آشکار نماید. از آنجا که تا پیش از این، این موضوع (همزمان‌سازی برست) در محیط غیر همیار مورد بررسی قرار نگرفته است، نتایج همزمان‌سازی با نتایج آشکارسازی اولیه مورد مقایسه قرار گرفت. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی دیدیم که برای مقادیر مثبت نسبت سیگنال به نويز، میزان تشابه دایس بعد از همزمان‌سازی به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته و به حدود یک می‌رسد. علاوه بر این میزان خطاهای برست و زمان سکوت نیز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته و به صفر می‌رسد. در نتیجه می‌توان گفت که همزمان‌ساز پیشنهادی عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهد.

## مراجع

- [1] M. Teimouri and H. Kakaei Motlagh, "Reverse Engineering of Communications Networks: Evolution and Challenges," arXiv preprint arXiv:1704.05432, 2017.

## زیرنویس‌ها

- 
- <sup>1</sup> Burst
  - <sup>2</sup> Non-Cooperative
  - <sup>3</sup> Time-Division Multiple Access
  - <sup>4</sup> Energy Detector
  - <sup>5</sup> Maximum-Minimum Eigenvalue Detector
  - <sup>6</sup> Auto-Correlation Detector
  - <sup>7</sup> Energy Ratio Detector
  - <sup>8</sup> Guard Time
  - <sup>9</sup> Dice
  - <sup>10</sup> Binary Function
  - <sup>11</sup> Time Slot
  - <sup>12</sup> Signal to Noise Ratio