

## 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 algorithms 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

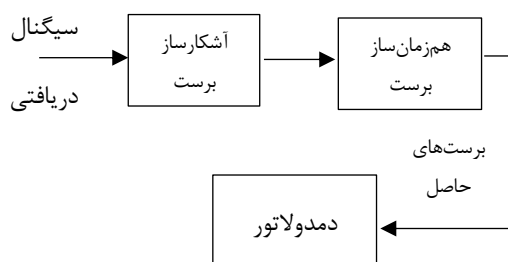
نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - خیابان کارگر شمالی - دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

## ۱- مقدمه

دمدولاتور داده شود، اطلاعاتی آشکار می شود که در حقیقت هیچ گاه ارسال نشده است. با توجه به این مسائل، اهمیت انجام همزمان سازی کور قبل از دمدولاسیون واضح می گردد؛ بنابراین برای شناسایی کور برست در محیط غیر همیار، پس از آشکارسازی، مرحله همزمان سازی در نظر گرفته می شود (شکل ۱ را ببینید). توجه کنید که در سیستم های مخابراتی مرسوم، معمولاً بیت هایی اضافی (و یا الگوهای سیگنالی مشخصی) در برست ها قرار داده می شوند تا گیرنده برای همزمان سازی از آن ها استفاده نماید. با استفاده از چنین روشی گیرنده خودی می تواند به راحتی برای همزمان سازی اقدام نماید.

مروری بر روش های همزمان سازی در TDMA در [۱۰-۸] آورده شده است. از جمله کارهای اخیر در این زمینه نیز می توان به مراجع [۱۱-۱۳] اشاره نمود. در تمام این روش ها، حتی در شرایط اصطلاحاً کور که در آن الگوی هم زمانی توسط فرستنده ارسال نمی شود، گیرنده از ساختار برست های TDMA دریافتی (یعنی طول هر برست و زمان محافظ<sup>۸</sup> بین برست ها) مطلع است. از آنجا که هدف این مقاله همزمان سازی کور در محیط غیر همیار است شرایط متفاوت خواهد شد چراکه اطلاعاتی از ساختار سیگنال دریافتی در اختیار نیست و گیرنده می تواند 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 همزمان سازی برست ها در شبکه های TDMA پیشنهاد می شود. ایده این روش بر این مبنا است که در شبکه های TDMA، برست ها دارای طول یکسان و ساختاری منظم هستند. لذا، می توان از این آرایش منظم استفاده نمود و به همزمان سازی کور برست ها پرداخت. الگوریتم پیشنهادی الگوریتمی تکراری است که موقعیت و طول های برست آشکار شده را به نزدیک ترین ساختار TDMA نگاشت می کند. این الگوریتم پیشنهادی بر روی خروجی تمامی روش های مطرح شده در [۷] قابل اجرا است و می تواند عملکرد آشکارسازها را بهبود دهد. مشابه با [۷]، برای ارزیابی عملکرد همزمان سازی از سه معیار مختلف استفاده می شود: معیار تشابه دایس<sup>۹</sup>، معیارهای خطای برست و خطای زمان محافظ (یا همان زمان سکوت). نتایج شبیه سازی نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی باعث افزایش دقت آشکارسازی برست در سیستم های مبتنی بر TDMA می گردد.



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

امروزه شناسایی کور سیگنال بخش جدایی ناپذیر از سیستم های مخابراتی هوشمند محسوب می شود [۱]. این سیستم ها اهمیت زیادی در زمینه های نظامی و تجاری دارند. برای این منظور روش های مختلفی جهت پردازش کور سیگنال در بخش های مختلف گیرنده از جمله آشکارسازی [۲] و همزمان سازی سیگنال، دمدولاسیون و دیکدینگ [۳] پیشنهاد شده و به کار گرفته می شوند.

با توجه به گسترش ارتباطات مبتنی بر برست<sup>۱</sup>، یکی از نیازمندی های مهم در این حوزه، طراحی آشکارساز کور برست می باشد. در ارتباطات مبتنی بر برست، کاربران مختلف اطلاعات خود را در قالب برست در شیارهای زمانی اختصاص یافته به خود ارسال می کنند. یکی از اولین مراحل در گیرنده آشکارسازی این برست ها است. آشکارسازی در این نوع ارتباط به مفهوم یافتن زمان دقیق ابتدا و انتهای برست ها و به دنبال آن زمان های سکوت است. اگرچه در زمینه آشکارسازی سیگنال پژوهش های بسیاری انجام شده است [۴][۵]، ولی آشکارسازی سیگنال های برست به مفهوم بیان شده در شرایط کور مورد توجه کمی قرار گرفته است. به عنوان مثال، در [۶] آشکارسازی کور سیگنال های 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، به مراتب سخت تر است. در چنین محیطی سیگنال دریافتی می تواند از شبکه ای از نوع TDMA<sup>۳</sup> با طول برست های یکسان (موضوع مورد بررسی این مقاله) و یا شبکه ای رقابتی با طول برست های متفاوت باشد. هم چنین این موضوع که طول برست ها 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 طول های 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 پیاده سازی و با روش پیشنهادی نسبت انرژی (ERD<sup>۷</sup>) مقایسه شده اند. با وجود دقت خوب آشکارسازهای پیشنهادی در [۷]، موقعیت برست ها در نهایت به صورت کاملاً دقیق به دست نمی آید و ممکن است برست ها با طول بزرگ تر و یا کوچک تر از مقدار واقعی خود آشکار شوند. علاوه بر این تشخیص زمان شروع برست ها نیز می تواند دارای خطا باشد. لذا اگر برست های آشکار شده مستقیماً به دمدولاتور تحویل داده شوند، بیت های دمدوله شده توسط دمدولاتور در بهترین حالت دمدولاسیون تعدادی از بیت های ارسالی را شامل نمی شوند زیرا بخشی از هر برست در تشخیص ابتدایی از دست رفته اند. در شرایط بدبینانه تر، ممکن است بیت های دمدوله شده تعدادی بیت غیر واقعی را نیز در خود جای داده باشند. به عبارت دیگر، اگر بخشی از زمان های سکوت (که صرفاً حاوی نویز است) به عنوان قسمتی از برست ها جهت بازبازی اطلاعات تحویل

معیار  $D$  میزان شباهت دو سیگنال  $W_D$  و  $W_R$  را می‌سنجد. در شکل ۲ مثالی از آشکارسازی  $W_D$  در مقایسه با  $W_R$  نشان داده شده است. میزان شباهت دایس می‌توان 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 بیش‌تر باشد، مقدار  $D$  به یک نزدیک‌تر می‌شود و در صورت منطبق بودن دو سیگنال مقدار  $D$  برابر یک می‌شود. 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 نمونه‌های پرست 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 روشن‌تر شدن موضوع سیگنال پرستی را در نظر می‌گیریم که دارای زمان‌های محافظ خیلی کوتاه و زمان‌های پرست طولانی باشد. در این صورت یکی از حالت‌های آشکارسازی می‌تواند این باشد که آشکارساز موقعیت پرست‌ها را تشخیص دهد ولی قادر به شناسایی زمان‌های محافظ نباشد. در این حالت به دلیل تعداد نمونه‌های زیاد پرست، میزان دایس بالا خواهد بود. علاوه بر این در حالت کلی هم ممکن است آشکارسازی طول پرست‌ها را بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر از مقدار واقعی نشان دهد. در این حالت نیز معیار دایس نمی‌تواند به‌تنهایی وضعیت را ارزیابی نماید. مشابه [۷]، در این مقاله نیز برای بررسی این موضوع دو خطای  $E_G$  و  $E_B$  در نظر گرفته می‌شوند.  $E_B$  یا خطای پرست از حاصل تقسیم تعداد نمونه‌های پرستی که به‌اشتباه نویز تشخیص داده شده‌اند بر کل تعداد نمونه‌های پرست به‌دست می‌آید.  $E_G$  یا خطای زمان محافظ (یا خطای زمان سکوت) نیز از حاصل تقسیم تعداد نمونه‌های صرفاً نویزی که به‌اشتباه به‌عنوان نمونه‌های پرست تشخیص داده شده‌اند بر کل تعداد نمونه‌های صرفاً نویز به‌دست می‌آید. هم‌چنین بدون توجه به پرست یا صرفاً نویز بودن نمونه‌ها، می‌توان تعداد نمونه‌هایی را که اشتباه تشخیص داده شده‌اند (صرفاً نویز به‌عنوان پرست و یا پرست به‌عنوان صرفاً نویز) بر تعداد کل نمونه‌های دریافتی  $N_s$  تقسیم کرد و خطای کلی آشکارساز را محاسبه نمود [۱۶]. با 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 به‌خوبی تحلیل نمود.

واضح است که هدف آشکارساز پرست در شکل ۱، به‌دست آوردن  $W_D$  است. در [۷] برای به‌دست 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 به‌دست‌آمده برای

ساختار مقاله به این شرح است. در ادامه و در بخش دوم، ابتدا مدل سیگنال ارائه و روش‌های مختلف ارزیابی آشکارساز سیگنال بررسی می‌گردد. در بخش سوم، الگوریتم هم‌زمان‌سازی پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش چهارم با ارائه نتایج شبیه‌سازی عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در پایان و در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری انجام خواهد شد.

## ۲- مدل سیگنال

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد در ارتباطات مبتنی بر پرست هر کاربر، پرست اطلاعات مربوط به خود را در یک بازه زمانی ارسال می‌کند و پرست‌ها توسط زمان‌های محافظ (یا سکوت) از یکدیگر مجزا می‌شوند. مدل سیگنال پرست دریافتی را می‌توان با تعمیم مدل معرفی‌شده برای سیگنال گذرا در [۱۴] بیان نمود. اگر تعداد نمونه‌های موجود در پرست  $i$  ام برابر  $n_B(i)$  باشد و تعداد نمونه‌های موجود در بازه مشاهده برابر  $N_s$  در نظر گرفته شود، می‌توان سیگنال پرست دریافتی را که شامل  $M$  پرست است به‌صورت:

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

نمایش داد که  $s(j)$  سیگنال ارسالی و  $n(j)$  نویز گوسی سفید است. سیگنال دریافتی می‌تواند سیگنال حقیقی در فرکانس رادیویی و یا سیگنال مختلط معادل باند پایه باشد. اگر در رابطه (۱) مقدار  $M=1$  و نمونه‌های  $n_B(1)$  به‌صورت متوالی در نظر گرفته شوند به‌حالت خاص مدل سیگنال گذرا می‌رسیم. برای حالت خاص TDMA بدیهی است که مقدار  $n_B(i)$  برای همه پرست‌ها یکسان و برابر مقدار  $n_B$  است.

هدف در آشکارسازی پرست‌های TDMA، یافتن مقدار  $n_B$  و هم‌چنین موقعیت دقیق هر پرست در بازه مشاهده است. موقعیت پرست‌ها را می‌توان توسط یک تابع دودویی<sup>۱</sup> نشان داد [۷]. به این صورت که برای نمونه‌های واقع در پرست مقدار یک و برای نمونه‌های صرفاً نویز مقدار صفر در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله تابع  $W_D$  برای نشان دادن موقعیت پرست‌های آشکارشده توسط آشکارساز استفاده می‌شود؛ بنابراین سیگنال آشکارشده  $s_D$  را می‌توان به‌صورت رابطه (۲) نمایش داد.

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

اگر تابع موقعیت واقعی پرست‌ها را با  $W_R$  نشان دهیم، سیگنال دریافتی را می‌توان 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  $W_D$  بیش‌تر باشد، آشکارسازی دقیق‌تر است. ضریب تشابه دایس معیاری است که شباهت دو مجموعه را می‌سنجد [۱۵]. از این‌رو در این مقاله پیشنهاد می‌شود برای سنجش عملکرد آشکارساز از معیار دایس ( $D$ ) استفاده نماییم.

برای توصیف یک ساختار ارسال برست مبتنی بر TDMA می توان از سه پارامتر استفاده نمود: ۱- یکی از زمان های شروع برست که با  $t_s$  نمایش داده می شود، ۲- طول شیار زمانی TDMA که با  $T_U$  نمایش داده می شود و ۳- طول برست  $n_B$  که با  $T_B$  نمایش داده می شود (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، نزدیک ترین ساختار TDMA به  $W_D$  را می یابد. برای به دست آوردن تخمین اولیه از سه پارامتر مورد نظر الگوریتم به این صورت عمل می کنیم. 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 می شود. واضح است که با افزایش نسبت سیگنال به نویز ( $SNR^{(i)}$ ) این مقدار به طول واقعی برست ها بسیار نزدیک می شود. همچنین، زمان ابتدای مربوط به اولین برست دارای طول  $T_B^{(0)}$  را به عنوان  $t_s^{(0)}$  در نظر می گیریم. برای یافتن  $T_U^{(0)}$  نیز به این شکل عمل می کنیم. با استفاده از دو مقدار  $T_B^{(0)}$  و  $t_s^{(0)}$  و به ازای مقادیر مختلف  $T_U$  یک ساختار منظم از شیارهای زمانی TDMA را در نظر می گیریم. 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 می کنیم برستی به طول  $T_B^{(0)}$  حضور دارد (متناظر با مقدار یک تابع آشکارسازی  $W_S$ )، در غیر این صورت فرض می کنیم آن شیار زمانی خالی است (متناظر با مقدار صفر برای تابع آشکارسازی  $W_S$ ). مقدار  $T_U$  متناظر با شبیه ترین ساختار TDMA به  $W_D$  (با معیار تشابه دایس) را به عنوان  $T_U^{(0)}$  در نظر می گیریم. توجه کنید که برای تعیین شیارهای زمانی فعال از  $W_{D2}$  استفاده نموده ایم. دلیل این موضوع این است که طول پنجره بزرگ تر در تولید  $W_{D2}$  باعث می شود احتمال از دست رفتن اسلات های 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 نگاه داشتن دو پارامتر از سه پارامتر و تغییر پارامتر سوم، بهترین مقدار جدید برای پارامتر سوم انتخاب می شود. این فرایند تا زمانی تکرار می شود که تغییری در سه پارامتر ایجاد نشود. روش پیشنهادی در الگوریتم ۱ تشریح شده است.

#### الگوریتم ۱: الگوریتم همزمان سازی برست

**ورودی ها:** توابع  $W_D$  و  $W_{D2}$

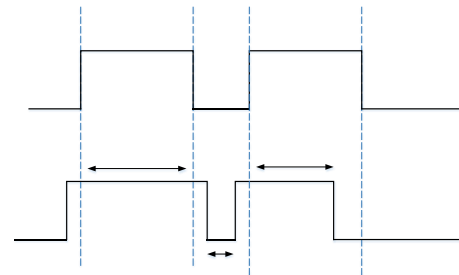
**خروجی ها:** پارامترهای  $T_B$ ،  $T_U$  و  $t_s$  به همراه تابع  $W_S$

**مقداردهی اولیه:**  $i=1$

#### تخمین پارامترهای اولیه:

۱- از میان  $n_B(i)$  های مشخص شده توسط  $W_D$ ، مقدار میانه به عنوان طول برست اولیه ( $T_B^{(0)}$ ) انتخاب می شود.

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 لغزانده می شوند. روش آشکارسازی نیز به این شکل است که بیشینه نسبت انرژی این دو پنجره بیانگر محل ابتدا و یا انتهای برست می باشد. از آنجا که در شبکه TDMA برست ها دارای طول یکسان و ساختار منظم هستند، در بخش همزمان سازی هدف نگاشت  $W_D$  به نزدیک ترین ساختار TDMA است. در چنین ساختار منظمی، فاصله بین زمان شروع برست های 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 می دهیم. بدیهی است که هر چه میزان شباهت  $W_R$  و  $W_S$  بیشتر باشد، همزمان سازی دقیق تر است. در بخش بعد، الگوریتم پیشنهادی برای همزمان سازی برست و یافتن  $W_S$  ارائه خواهد شد.



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

#### ۳- الگوریتم همزمان سازی پیشنهادی

برای آشکارسازی اولیه، از آنجا که در حالت غیر همیار اطلاعات دقیقی از طول برست و زمان محافظ در اختیار نیست، مانند  $[V]$  پیشنهاد می کنیم که از دو طول پنجره متفاوت کوچک و بزرگ استفاده شده و حاصل ضرب آشکارسازی های انجام شده توسط این دو پنجره به عنوان آشکارسازی اولیه در نظر گرفته شود. در  $[V]$  نشان داده شده است که اگر حاصل ضرب آشکارسازی ها 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 آشکارسازی اولیه داریم. این دو طول پنجره در حقیقت توسط حدود بالا و پایین بر روی طول برست تعیین می شوند. با توجه به این که همزمان سازی به صورت کور انجام می شود، تنها توابع آشکارسازی اولیه در اختیار همزمان ساز قرار می گیرد و همزمان ساز فرض می کند که فرستنده از روش ارسال TDMA استفاده می کند. با استفاده از یک الگوریتم تکراری، می توان نزدیک ترین ساختار منظم  $W_S$  به  $W_D$  یافت. برای یافتن نزدیک ترین ساختار منظم به  $W_D$  از معیارهای مختلفی می توان استفاده نمود. در این مقاله ما از معیار تشابه دایس استفاده می کنیم.

۲- زمان ابتدای مربوط به اولین پرست 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 پرست تشخیص داده شده است، فرض می‌کنیم پرستی 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.

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

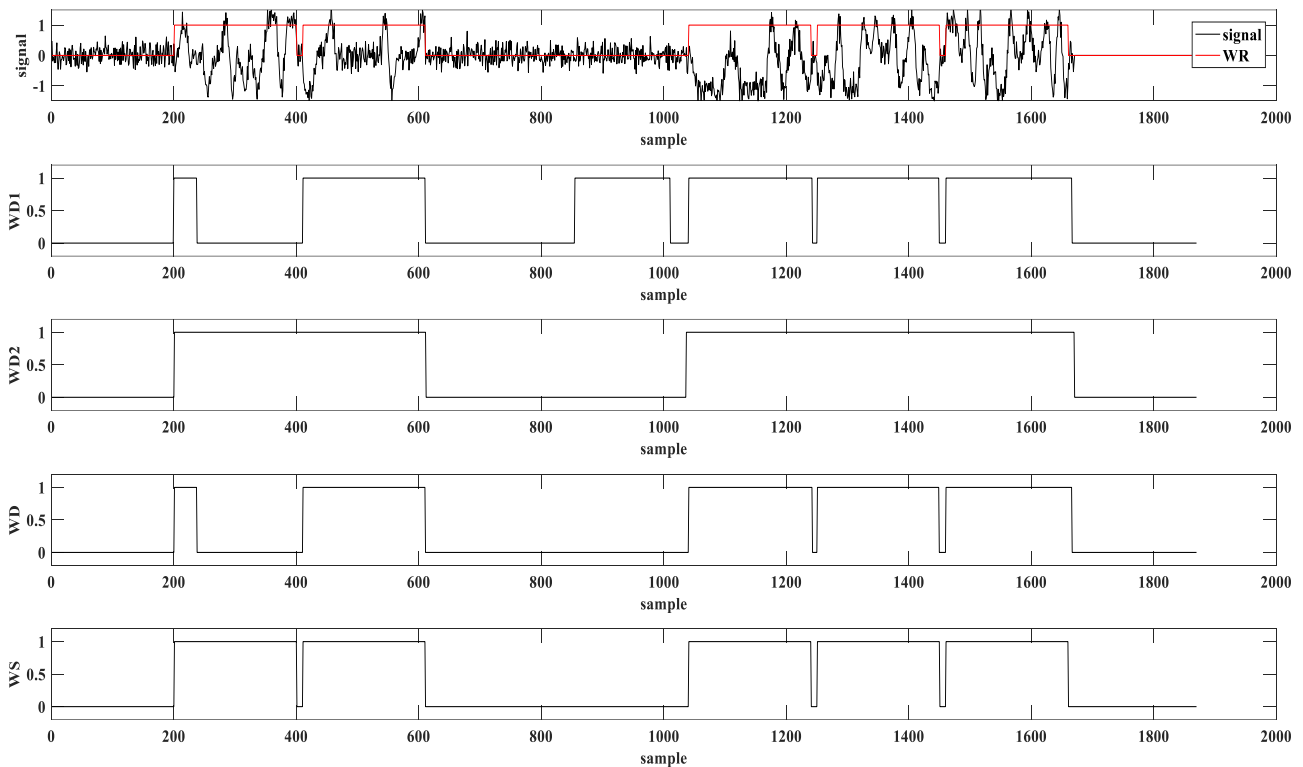
در شکل ۳، مثالی از نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای همزمان‌سازی نشان داده شده است. در این شکل، ابتدا سیگنال دریافتی که شامل ۵ پرست مدوله‌شده توسط مدولاسیون QPSK و شکل پالس

حاوی ۲۰۰ بیت اطلاعات (معادل ۱۰۰۰ نمونه) و طول زمان های محافظ ۶ بیت (معادل ۳۰ نمونه) هستند. عملکرد همزمان ساز را برای بازه نسبت سیگنال به نویز از ۶- تا ۶ دسی بل و با استفاده شبیه سازی مونت کارلو مورد آزمایش قرار می دهیم. به طور دقیق تر، در هر سناریو و برای هر مقدار مشخص از نسبت سیگنال به نویز ۱۰۰۰ آزمایش انجام شده است. ابتدا نتایج همزمان سازی برای سناریوی اول را مورد بررسی قرار می دهیم. آشکار ساز نسبت انرژی را به عنوان آشکار ساز اولیه در نظر می گیریم. در پیاده سازی آشکار سازی نسبت انرژی از دو طول پنجره کوچک و بزرگ به ترتیب برابر  $L_1=10$  و  $L_2=200$  (بر حسب نمونه) استفاده می شود. در شکل ۴ نتایج شبیه سازی برای سناریوی اول نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می شود میزان دایس  $W_S$  نسبت به  $W_D$  بهبود چشمگیری یافته است. به طوری که درصد دایس در نسبت سیگنال به نویز ۲- دسی بل 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 آشکار ساز توسط همزمان ساز است.

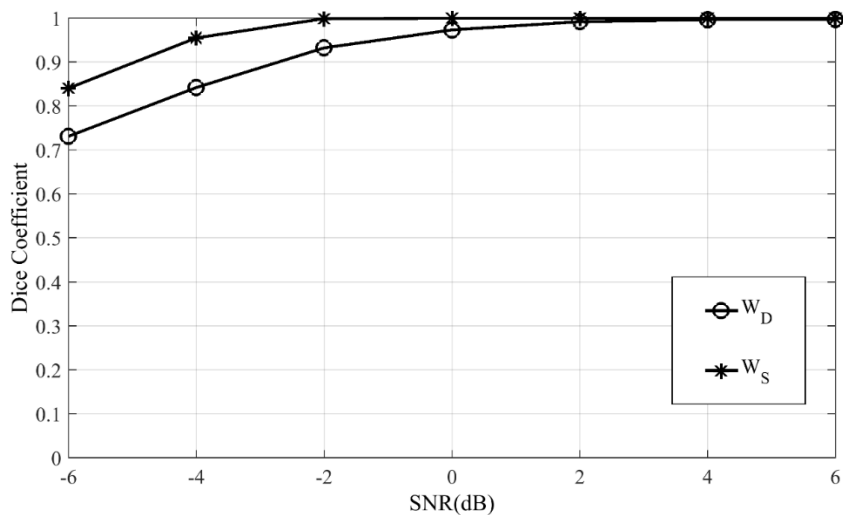
$T_B^{(i)}$  صورت نگیرد. در مثال شکل ۳، این مقادارها به ترتیب برابر ۲۰۱، ۲۰۰ و ۲۱۰ به دست می آیند. خروجی الگوریتم همزمان سازی (همان  $W_S$ ) در شکل ۳ نشان داده شده است. میزان تشابه دایس این خروجی با  $W_R$  برابر ۱ است.

#### ۴- نتایج و بحث

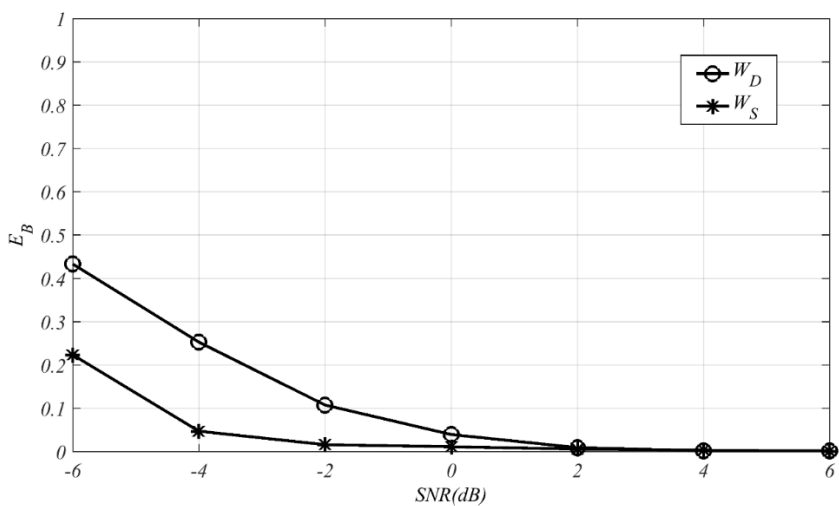
برای انجام شبیه سازی ها یک سیگنال TDMA شامل  $M=10$  برست تولید می شود. برست ها با مدولاسیون QPSK و شکل پالس Raised-Cosine مدوله شده اند. فرض می شود که سیگنال دریافتی با نرخ ۱۰ نمونه بر سمبل مدولاسیون نمونه برداری شده است. میزان اشغال کانال نیز برابر ۷۰ درصد در نظر گرفته می شود. برای بررسی عملکرد همزمان ساز دو سناریوی مختلف طول برست کوتاه و طول برست بلند را مورد آزمایش قرار می دهیم. در سناریوی اول برست ها حاوی ۴۰ بیت اطلاعات (معادل ۲۰۰ نمونه) هستند و طول زمان محافظ هم ۲ بیت (معادل ۱۰ نمونه) در نظر گرفته می شود. در سناریوی دوم برست ها



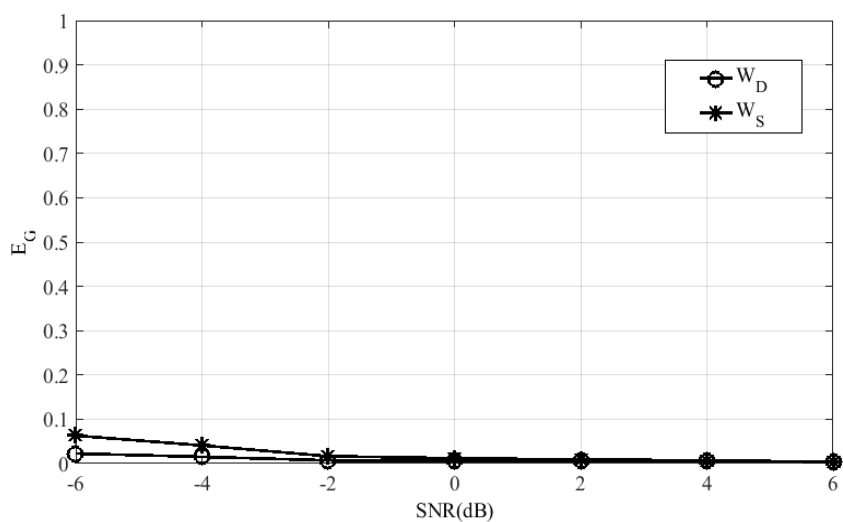
شکل ۳: مثالی از نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی همزمان سازی



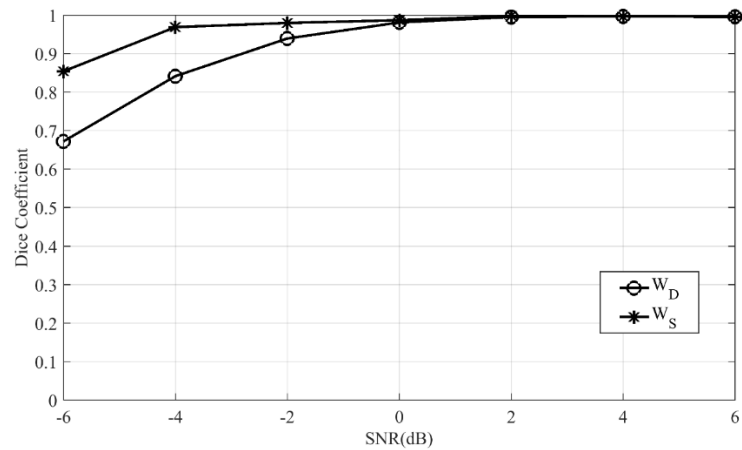
شکل ۴: عملکرد همزمان‌ساز برای طول‌های برست کوتاه بر روی آشکارساز نسبت انرژی



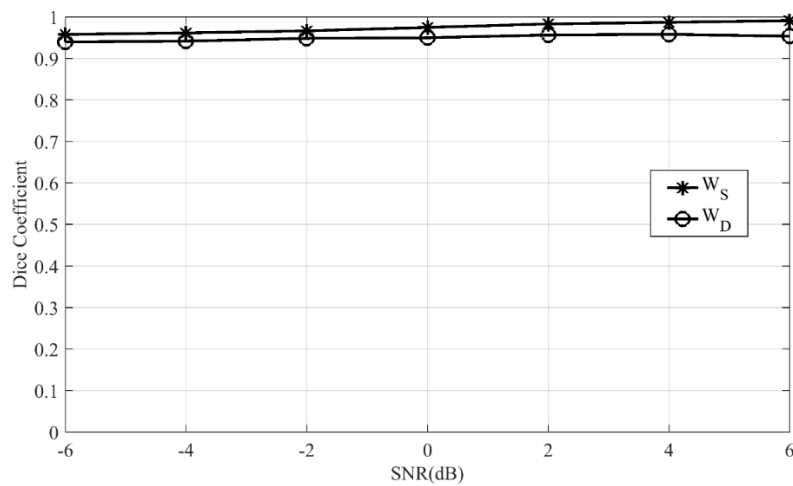
شکل ۵: میزان خطای برست برای طول‌های برست کوتاه و با استفاده از آشکارساز نسبت انرژی



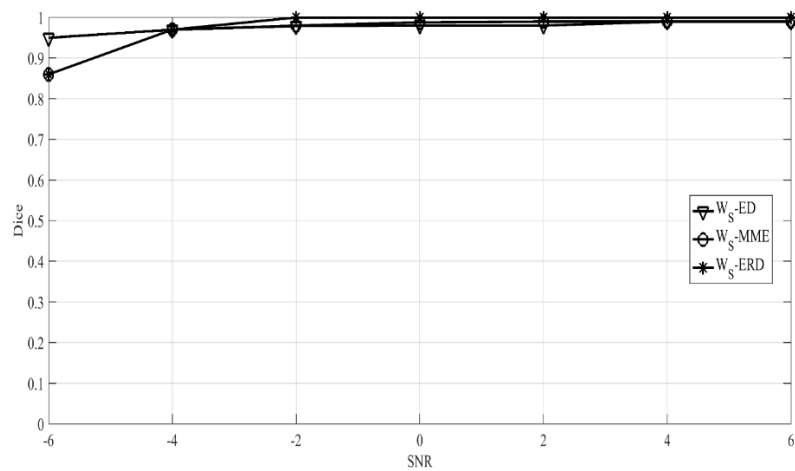
شکل ۶: میزان خطای زمان سکوت برای طول‌های برست کوتاه و با استفاده از آشکارساز نسبت انرژی



شکل ۷: عملکرد همزمان ساز برای طول های برست کوتاه با استفاده از آشکارساز مقادیر ویژه



شکل ۸: عملکرد همزمان ساز برای طول های برست کوتاه با استفاده از آشکارساز انرژی



شکل ۹: مقایسه عملکرد همزمان ساز برای طول های برست کوتاه بر روی آشکارسازهای مختلف



جدول ۱: عملکرد همزمان ساز برای طول های پرست بلند بر روی آشکار ساز نسبت انرژی

SNR(dB) تابع		-۶	-۴	-۲	۰	۲	۴	۶
$W_D$	$\mathcal{D}$	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
	$E_B$	۰/۴۲	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

که می تواند موقعیت پرست ها را با دقت بسیار بالایی آشکار نماید. از آنجا که تا پیش از این، این موضوع (همزمان سازی پرست) در محیط غیر همیار مورد بررسی قرار نگرفته است، نتایج همزمان سازی با نتایج آشکار سازی اولیه مورد مقایسه قرار گرفت. با استفاده از نتایج شبیه سازی دیدیم که برای مقادیر مثبت نسبت سیگنال به نویز، میزان تشابه دایس بعد از همزمان سازی به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش یافته و به حدود یک می رسد. علاوه بر این میزان خطاهای پرست و زمان سکوت نیز به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و به صفر می رسد. در نتیجه می توان گفت که همزمان ساز پیشنهادی عملکرد مناسبی از خود نشان می دهد.

### مراجع

- [1] M. Teimouri and H. Kakaei Motlagh, "Reverse Engineering of Communications Networks: Evolution and Challenges," arXiv preprint arXiv:1704.05432, 2017.
- [۲] مهدی تیموری، «آشکار سازی 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 ضربی 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، «آشکار سازی کور سیگنال های پرست در محیط غیر همیار»، پذیرفته شده برای چاپ در *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*.

علاوه بر میزان دایس برای ارزیابی دقیق عملکرد همزمان ساز از دو معیار خطای پرست و خطای زمان سکوت نیز استفاده می کنیم. میزان خطای پرست در شکل ۵ و خطای زمان سکوت در شکل ۶ نمایش داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود، با استفاده از الگوریتم همزمان سازی پیشنهادی خطای پرست به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. خطای زمان سکوت نیز با افزایش سیگنال به نویز کاهش یافته و در حدود صفر دسی بل به صفر نزدیک می شود.

در جدول ۱، عملکرد همزمان ساز برای طول های پرست بلند نمایش داده شده است. همان طور که در این جدول دیده می شود، همانند همزمان سازی برای طول های پرست کوتاه، میزان ضریب تشابه دایس برای  $W_D$  در مقایسه با  $W_S$  بهبود قابل توجهی داشته است. علاوه بر این میزان خطاها نیز طبق انتظار کاهش یافته است.

بدیهی است که الگوریتم همزمان سازی پیشنهادی بر روی سایر روش های آشکار سازی نیز قابل اجرا است. در شکل ۷ نتیجه اعمال الگوریتم همزمان سازی بر روی آشکار ساز مقادیر ویژه نشان داده شده است. همچنین در شکل ۸ نتیجه اعمال الگوریتم همزمان سازی بر روی آشکار ساز انرژی نمایش داده شده است. در پیاده سازی این دو روش نیز از دو طول پنجره کوچک و بزرگ به ترتیب برابر  $I_1=10$  و  $I_2=200$  (برحسب نمونه) استفاده می شود. همان طور که ملاحظه می شود، در تمامی حالت ها، الگوریتم همزمان سازی قادر به بهبود عملکرد آشکار ساز به میزان قابل توجهی می باشد. در نتیجه اعمال الگوریتم همزمان سازی بر روی روش های مختلف آشکار سازی با یکدیگر مقایسه شده است. مشاهده می شود که اجرای همزمان سازی بر روی خروجی تمام روش ها باعث فراهم شدن دقت بسیار خوبی می شود. باین حال، همان طور که ملاحظه می شود همزمان سازی بر روی آشکار ساز نسبت انرژی سریع تر به مقدار ضریب تشابه دایس ۱ رسیده است.

### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله همزمان سازی کور سیگنال های پرست در شبکه های TDMA مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از اعمال الگوریتم همزمان سازی پیشنهادی بعد از آشکار ساز اولیه، سیستمی پیشنهاد شده است

- 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.
- [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*

### زیر نویس ها

<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

<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