

## کاهش سرباره در حسگری مشارکتی و ترتیبی طیف در شبکه‌های رادیویی هوشمند با محدودیت پهنای باند

سمیرا ترابی<sup>(۱)</sup> - علی بهرامی صادقی آبادی<sup>(۲)</sup> - محمد فرزانه صباحی<sup>(۳)</sup>

(۱) کارشناس ارشد - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد

(۲) کارشناس ارشد - شرکت نفت و گاز پارس، عسلویه، ایران

(۳) استادیار - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۱

**خلاصه:** حسگری طیف نقش مهمی در شبکه‌های رادیویی هوشمند دارد. حسگری دقیق و سریع طیف، عملکرد اصلی یک رادیو هوشمند برای جلوگیری از تداخل مخرب کاربران هوشمند بر عملکرد کاربران مجاز است. عملکرد آشکارسازی اغلب با محوشدگی و سایه انداختن و... به خطر می‌افتد. برای کاستن از تأثیر این مسائل، حسگری مشارکتی به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود عملکرد آشکارسازی با استفاده از تنوع فضایی ارائه شده است. روش‌های حسگری مشارکتی به دو دسته متمرکز و غیر متمرکز تقسیم می‌شوند. در روش متمرکز، نحوه ترکیب داده‌ها در مرکز به دو روش نرم و سخت داده انجام می‌شود. با استفاده از ترکیب نرم داده، عملکرد بهتری در مرکز ایجاد می‌شود ولی پهنای باند بیشتری اشغال می‌شود و با افزایش تعداد کاربران با مشکل مواجه خواهیم شد. با استفاده از روش سخت با توجه به اینکه داده‌ها به صورت تک بیتی ارسال می‌شوند، اطلاعات بسیار زیادی از بین می‌رود. از طرفی به علت محدودیت پهنای باند، از مشکل سرباره نمی‌توان صرف‌نظر نمود. لذا ایجاد سرباره حسگری می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. در این مقاله روش‌های حسگری مشارکتی به همراه روش‌های ترتیبی و با استفاده از لگاریتم نسبت درست نمایی و بر اساس ترکیب نرم کوانتیزه شده پیشنهاد می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش مانند روش ترکیب نرم، بهره خوبی را در حسگری مشارکتی ایجاد می‌کند و همانند روش سخت سرباره را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** رادیوی هوشمند، حسگری ترتیبی طیف، حسگری مشارکتی، سرباره حسگری، ترکیب نرم داده

## Overhead Reduction in Cooperative Spectrum Sensing Via Sequential Detection in Cognitive Radio Networks Under Bandwidth Constraint

Samira Torabi<sup>(1)</sup> - Ali Bahrami Sadeghabadi<sup>(2)</sup> - Mohammad Farzan Sabahi<sup>(3)</sup>

(1) MSc - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University  
Samiratorabi000@gmail.com

(2) Senior Offshore Telecom Maintenance Engineer in Assaluyeh-Iran  
abahramis@gmail.com

(3) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Isfahan University  
sabahi@eng.ui.ac.ir

Reliable and efficient spectrum sensing plays an important role in cognitive radio networks. On the other hand, accurate and fast sensing of spectrum is the main function of a cognitive radio for cognitive users to avoid harmful interference in licensed users. However, detection performance issues are often shadowing, fading and receiver uncertainty. To mitigate the impact of these issues, cooperative spectrum sensing as an effective method is presented to improve the detection performance with help of spatial diversity. Cooperative spectrum sensing leads to CR detection performance improvement. In order to execute the cooperative spectrum sensing among cognitive radio users, data fusion schemes are superior to that of decision fusion ones in terms of the detection performance but suffer from the disadvantage of huge traffic overhead when bandwidth constraint of communication channels is taken into account. The overhead contains additional sensing time, delay, energy and sensing actions dedicated to cooperative sequential sensing any also contains any performance degradation that is caused by cooperative sensing. The purpose of this paper is reviewing of the cooperative sensing techniques with sequential methods. The simulation results show that with reducing the number of examined samples, the sensing time and the energy will be reduced and as the result, the overhead will be reduced.

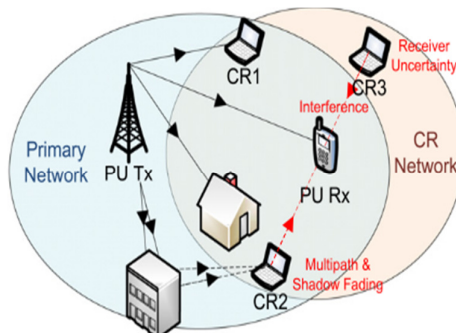
**Index Terms:** Cognitive radio, sequential spectrum sensing, cooperative sensing, overhead, hard decision.

## ۱- مقدمه

مشکل دریافت نامطمئن سیگنال اولیه مواجه است. پس قابل توجه است که انتقال سیگنال، مثلاً از CR3 ممکن است باعث ایجاد تداخل گردد. اما به علت تنوع فضایی که کاربران هوشمند دارند، بسیار نامحتمل است که همه کاربران هوشمند به اتفاق یکدیگر، پدیده فیدینگ یا مشکل سایه انداختن و... را تجربه کنند [۵].

به طور کلی حسگری محلی طیف به دلایلی از قبیل محوشدگی، سایه افکنی و مسئله ایستگاه پنهان، منجر به افت بسیار زیاد عملکرد آشکارسازی می‌شود. برای غلبه بر این مشکلات در [۱۰] حسگری مشارکتی طیف به وسیله چندین کاربر هوشمند که در محل‌های متفاوتی قرار دارند، پیشنهاد شده است.

اگر تمامی کاربران هوشمند مانند کاربر CR1 سیگنال را قوی و بدون مشکلاتی که گفته شد دریافت نمایند، حال می‌توان نتایج حسگری سایر کاربران هوشمند با بقیه کاربران به اشتراک گذاشته شود. ترکیب تصمیمات مشارکتی<sup>۱</sup> که از مجموع مشاهدات فضایی به دست می‌آید، می‌تواند بر فقدان مشاهدات فردی هر کاربر غلبه کند [۶]. این گونه بهره آشکارسازی به شکل قابل توجهی بهبود می‌یابد. بنابراین حسگری مشارکتی به عنوان یک روش بسیار جذاب و مؤثر جهت غلبه بر مشکلات بیان شده خواهد بود. با توجه به اینکه هرگونه کاهش عملکرد آشکارسازی در ارتباط با سایه انداختن و قسمتی از سرباره<sup>۲</sup> می‌باشد، بنابراین انگیزه این مقاله برای کشف ایده حسگری مشارکتی برای رسیدن به بهره مطلوب است.



شکل (۱): دریافت نامطمئن سیگنال و سایه انداختن و محوشدگی [۷]  
Fig. (1): Receiver uncertainty and multipath/shadow fading [7]

در مقالات [۳-۵]، کاربران هوشمند موجود در شبکه با توجه به اینکه هرکدام در مکان مختلفی قرار گرفته‌اند، برای حسگری مشارکت می‌کنند. این کاربران هوشمند هر کدام به تنهایی نتایج حسگری خود را به مرکز تصمیم‌گیری اعلام می‌کنند.

در یک سیستم رادیویی هوشمند، مهمترین جز، حسگری طیف می‌باشد. زیرا بر اساس نتایج حسگری طیف است که کاربران هوشمند می‌توانند از باند فرکانسی برای ارسال و دریافت داده استفاده کنند. به هر حال در یک چرخه CR باید یک مصالحه بین بازه زمانی مخابراتی داده و زمان‌های حسگری طیف برقرار باشد. از طرف دیگر تخصیص زمان بیشتر برای حسگری طیف، دقت نتایج حسگری را افزایش می‌دهد. اما

امروزه با توجه به افزایش استفاده از مخابرات بی‌سیم با کمبود طیف در باندهای خاصی روبرو هستیم. تحقیقات نشان می‌دهد که تنها ۲۰ درصد از طیف فرکانسی اختصاص یافته به کاربران دارای مجوز در تمامی زمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. شبکه‌های رادیوهای هوشمند<sup>۱</sup> (CRN) قادرند با استفاده از دسترسی پویا به طیف، کارایی طیف را به حداکثر برسانند. زیرا بدون اینکه تداخل مخربی برای کاربران اولیه ایجاد کنند، به کاربران ثانویه اجازه آشکار ساختن حفره‌های طیفی را می‌دهند [۲]. همچنین شبکه رادیویی هوشمند یک سیستم ارتباطی بی‌سیم است که دارای گره‌های هوشمند است، یعنی از محیط اطراف خود آگاه است. در این سیستم‌ها، کاربرهای هوشمند باید قابلیت تشخیص طیف با احتمال بالا را داشته باشند تا مطمئن شوند که آیا آن طیف به وسیله کاربر اولیه<sup>۲</sup> (PU) اشغال شده است یا خیر؟ سپس با توجه به آن سایر پارامترهای خود از قبیل توان ارسالی، فرکانس حامل و روش مدولاسیون را تنظیم کنند تا بتوانند در هر کجا که لازم شد یک ارتباط قابل اطمینان داشته باشند. در واقع با استفاده از رادیو هوشمند، فرستنده به طور هوشمندانه می‌تواند تشخیص دهد که کدام باند فرکانسی خالی و کدام باند در حال استفاده است. در حالت کلی اهداف حسگری طیف عبارتند از: ۱- کاربر ثانویه<sup>۳</sup> نباید باعث ایجاد تداخل مضر با کاربر اولیه در باندهای در دسترس گردد. ۲- کاربران ثانویه بایستی به طور مؤثر حفره‌های طیفی را شناسایی نموده و به طور مفید از آن‌ها استفاده نمایند [۲ و ۳].

بهره حسگری طیف بر اساس دو معیار اساسی مشخص می‌گردد [۴]: احتمال هشدار کاذب (Pfa)<sup>۴</sup> که بیان می‌کند یک کاربر اولیه در زمانی که طیف واقعاً خالی می‌باشد، حضور دارد.

احتمال آشکارسازی (Pd)<sup>۵</sup> حضور یک کاربر اولیه را زمانی که طیف واقعاً توسط کاربر اولیه اشغال شده است را بیان می‌نماید. به دلیل اینکه یک خطای کوچک در آشکارسازی باعث تداخل با کاربر اولیه می‌گردد و یک خطای هشدار کاذب باعث کاهش بهره طیفی می‌شود، معمولاً لازم است که برای عملکرد حسگری بهینه، احتمال آشکارسازی نسبت به محدودیت احتمال هشدار کاذب حداکثر گردد [۵].

در عمل عوامل زیادی از قبیل: محوشدگی، سایه انداختن<sup>۶</sup> و تلفات مسیر باعث می‌شود که عملیات حسگری طیف به طرز قابل توجهی تحت تأثیر قرار گیرند. در شکل (۱) عوامل گفته شده، مشاهده می‌شود [۷].

در شکل (۱) مشاهده می‌شود که دو کاربر ثانویه در محدوده کاربر اولیه هستند و کاربر ثانویه سوم خارج از این محدوده است. کاربر CR1 در دید مستقیم کاربر اولیه است، پس امکان آشکارسازی صحیح برای CR1 وجود دارد. کاربر CR2 به علت مانعی که سد راه سیگنال اولیه شده است، سیگنال را به صورت تضعیف شده، محو شده و به صورت چند مسیری دریافت می‌کند. به همین دلیل برای کاربر CR2 امکان آشکارسازی صحیح وجود ندارد. علاوه بر این، کاربر CR3 به علت اینکه از ارسال سیگنال کاربر اولیه و همچنین گیرنده اولیه بی‌اطلاع است، با

است که کاربر اولیه در حال استفاده از باند فرکانسی اختصاص یافته به آن می‌باشد و کاربر ثانویه مجاز به استفاده از باند فرکانسی نمی‌باشد.

فرض ما بر این است که تمامی رادیوها به فاصله‌های مساوی از یکدیگر قرار گرفته‌اند و فاصله بین هر دو رادیو بسیار کوچک است و همه رادیوها همانند یکدیگر تلفات مسیر را تجربه می‌کنند. پس ما می‌توانیم نسبت SNR را در همه یکسان بگیریم.

برای ارزیابی عملکرد آشکارسازی، احتمالات آشکارسازی (Pd) و هشدار کاذب (Pfa) به صورت زیر تعریف می‌شوند [۱۰]:

$$Pd = P(H1|H1) = P(X > \lambda | H1) \quad (2)$$

$$Pfa = P(H1|H0) = P(X > \lambda | H0) \quad (3)$$

که X آماره تصمیم‌گیری و  $\lambda$  سطح آستانه است. بر اساس این تعاریف احتمال عدم آشکارسازی به صورت  $Pm = 1 - Pd$  تعریف می‌شود.

با توجه به اینکه رادیو هوشمند به دنبال استفاده فرصت طلبانه از طیف اختصاص یافته به کاربر اولیه می‌باشد، هر زمان که کاربر اولیه از طیف استفاده نکند، کاربر هوشمند بدون مجوز، از طیف استفاده خواهد نمود. روابط احتمال هشدار کاذب و احتمال از دست دادن آشکارسازی به صورت زیر می‌باشند.

$$Pfa = \frac{\Gamma(u, \frac{\lambda^2}{\gamma})}{\Gamma(u)} \quad (4)$$

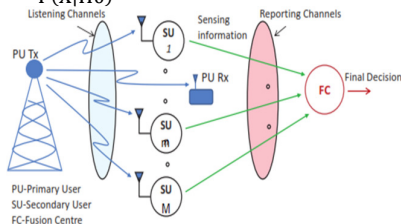
$$Pd = Qu(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) \quad (5)$$

$$Pm = 1 - Pd \quad (6)$$

در معادلات فوق،  $\lambda$  و  $\gamma$  به ترتیب آستانه آشکارسازی انرژی و نسبت سیگنال به نویز می‌باشند. u پهنای باند زمانی در آشکارساز انرژی می‌باشد.  $\Gamma(\cdot)$  تابع گامای ناتمام و  $Q(\cdot)$  تابع مارکوم می‌باشد.

آزمون نسبت درست‌نمایی یکی از روش‌های آزمون فرض آماری است که بین درستی یک فرضیه و متمم آن تصمیم می‌گیرد. در واقع نسبت درست‌نمایی، نسبت دو احتمال برای یک رویداد مشابه تحت فرضیه‌های متفاوت  $H_0$  و  $H_1$  می‌باشد. نسبت درست‌نمایی نسبتی از احتمالات است که از صفر تا بی‌نهایت مقدار می‌گیرد. نسبت درست‌نمایی برای داده گسسته به صورت احتمال وقوع مشاهده به فرض وقوع  $H_1$  تقسیم بر وقوع مشاهده به فرض  $H_0$  تعریف می‌شود [۱۱]:

$$LLRN = \ln \frac{P(X|H1)}{P(X|H0)} \quad (7)$$



شکل (۲): مدل سیستم [۱۲]  
Fig. (2): System model [12]

### ۳- مدل سیستم

همان طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، M رادیو هوشمند به همراه مرکز تصمیم‌گیری (مرکز تلفیق) FC، یک شبکه از رادیوهای

این موضوع اثر بخشی حسگری طیف را کاهش می‌دهد، چون زمان تخصیص یافته برای انتقال اطلاعات کوتاه‌تر می‌شود [۸].

اگر زمان حسگری کوتاه‌تر شود، اثر بخشی باعث افزایش بهره انتقال می‌شود. اگرچه این موضوع منجر به کاهش دقت در حسگری طیف می‌شود و در نهایت برای کاربران مجوزدار، ممکن است که ایجاد تداخل کند.

در آشکارسازی مشارکتی به یک تصمیم‌گیری نهایی بر پایه اطلاعات محلی سایر گروه‌ها در مرکز نیاز داریم. در حالت کلی ترکیب تصمیم در مرکز به سه دسته تصمیم‌گیری به روش سخت<sup>۱۱</sup> (HDC)، تصمیم‌گیری به روش نرم<sup>۱۱</sup> (SDC) و تصمیم‌گیری به روش نرم کوانتیزه شده تقسیم می‌شوند. در تصمیم‌گیری به روش سخت (HDC) تنها نتایج تصمیمات محلی به صورت تک بیتی از سایر گروه‌ها به مرکز گزارش می‌شود. در حالی که در تصمیم‌گیری به روش نرم (SDC) مشاهدات محلی مستقیماً به مرکز گزارش می‌شود. لذا سرباره حسگری بسیار زیادی خواهیم داشت.

در این مقاله، هدف این است که همه کاربران هوشمند در حسگری طیف مشارکت نمایند. با توجه به اینکه وقتی تعداد بیشتری کاربر هوشمند به حسگری طیف می‌پردازند، زمان حسگری افزایش می‌یابد، به همین دلیل از روش‌های حسگری ترتیبی جهت کاهش زمان حسگری استفاده شده است. از طرفی با توجه به اینکه ترکیب نرم عملکرد بهتری نسبت به ترکیب سخت نشان داده است ولی با افزایش گروه‌ها (تعداد کاربران)، سرباره زیادی به مرکز تحمیل می‌شود و پهنای باند بیشتری اشغال می‌شود. پس با توجه به محدودیت پهنای باند روش ترکیب نرم داده، برای تعداد بسیار زیاد کاربر هوشمند، مناسب نخواهد بود. در این مقاله با توجه به مسائل گفته شده، در روش پیشنهادی از ترکیب نرم کوانتیزه شده در آشکارسازی ترتیبی و بر اساس معیار درست‌نمایی استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، حتی برای تعداد زیادی کاربر هوشمند، بهره‌وری خوبی مانند ترکیب نرم به همراه کاهش سرباره دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از آشکارسازی ترتیبی، در مقایسه با روش‌های غیر ترتیبی بسیار بهتر بوده و با بهبود احتمال آشکارسازی کاربر اولیه و کاهش احتمال هشدار کاذب روبرو خواهیم بود.

### ۲- آزمون فرضیه

هدف از حسگری طیف، تصمیم‌گیری در مورد دو فرضیه است:

کاربر اولیه حضور ندارد:  $H_0$

کاربر اولیه حضور دارد:  $H_1$

در ساده‌ترین حالت و برای یک کانال AWGN، فرض کنیم x بردار نمونه‌های دریافت شده باشد. در این صورت:

$$\begin{cases} H_0: x = n \\ H_1: x = s + n \end{cases} \quad (1)$$

که در آن s بردار سیگنال ارسالی و n بردار نویز سفید گوسی مختلط تصادفی می‌باشد.  $H_0$  فرضیه‌ای است که کاربر اولیه حضور ندارد و کاربر ثانویه مجاز به استفاده از باند فرکانسی می‌باشد و  $H_1$  فرضیه‌ای

و مجموع مقادیر در مرکز محاسبه می‌شود و با آشکارسازی ترتیبی، تصمیم نهایی به روش سخت در مورد حضور کاربر اولیه اتخاذ می‌گردد. این روش مشابهت‌هایی با روش سانسور داده دارد. در روش سانسور داده نیز، برای هر گره دو ناحیه ارسال و عدم ارسال در نظر گرفته می‌شود. با این تفاوت که اگر نسبت درست‌نمایی در ناحیه ارسال قرار گیرد، گره آن را ارسال می‌کند و در غیر این صورت داده‌ای ارسال نمی‌شود [۱۰]. روش پیشنهادی در این مقاله ترکیبی از مقایسه نسبت درست‌نمایی با دو سطح آستانه و حسگری ترتیبی است. در نتیجه می‌توان در پهنای باند و انرژی صرفه‌جویی نمود. نحوه عملکرد به این صورت است که گره‌ها به ترتیب شروع به حسگری طیف می‌کنند تا جایی که در یک نمونه مشخص، حسگری متوقف می‌شود. نکته قابل توجه در روش پیشنهادی این است که تصمیم همه کاربرانی که در حسگری شرکت می‌کنند، بر خلاف روش سانسور داده، برای ما حائز اهمیت است و همه کاربران باید تصمیم خود را به مرکز گزارش کنند.

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله به صورت زیر است:

۱- ابتدا  $N=0$  و  $LLR_0=0$  قرار داده می‌شود.

۲-  $N=N+1$

۳- هر رادیوی هوشمند برای نمونه‌های دریافت شده خود، نسبت محدودده مورد نظر برسد، ادامه دارد. تعداد نمونه‌ها تا رسیدن به نتیجه مطلوب را  $N_{stop}$  می‌نامیم. در این صورت دو سطح آستانه  $\lambda_U$  و  $\lambda_L$  در گره‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۱]:

۴- هر رادیو نسبت محاسبه نموده را کوانتیزه می‌کند و به مرکز (FC) ارسال می‌کند.

۵- هر رادیو نسبت درست‌نمایی خود را به ترتیب برای هر نمونه به صورت زیر بروز رسانی می‌کند:

$$LLRN = LLRN - 1 + \ln \frac{P_1(x_i)}{P_0(x_i)} \quad (14)$$

اگر  $LLRN \geq \ln \lambda_U$  عدد ۱ از طرف گره مورد نظر به مرکز اعلام می‌شود و اگر  $LLRN \leq \ln \lambda_L$  عدد -۱ به مرکز اعلام می‌شود و اگر  $\ln \lambda_L \leq LLRN \leq \ln \lambda_U$  قرار بگیرد، عدد صفر را به مرکز اعلام می‌کند.

$$LLRN = \sum_{i=1}^N L(x_i) \quad (15)$$

$$= \begin{cases} LLRN \leq \ln \lambda_U & : H_0 \\ LLRN \geq \ln \lambda_L & : H_1 \\ \ln \lambda_L < LLRN < \ln \lambda_U & \text{next sample} \end{cases}$$

۶- در مرکز ابتدا LLR دریافت شده و با دو سطح آستانه‌ای که به صورت شهودی تعریف شده است، مقایسه می‌کنیم تا هم در مورد حضور کاربر اولیه بهتر تصمیم بگیریم و هم پهنای باند کمتری را اشغال کنیم.

۷- تا زمانی که با نمونه‌های دریافت شده بتوانیم تصمیم بگیریم این کار ادامه می‌یابد.

#### ۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش از مقاله فرض شده است که شبکه ۱۲ رادیوی هوشمند برای حسگری طیف دارد ( $M = 12$ ). همچنین برای هر رادیو ۳۰ نمونه فرض می‌کنیم ( $N = 30$ ).

هوشمند را تشکیل می‌دهند. به علاوه فرض می‌شود که کانال بین کاربر اولیه و گره‌ها با محوشدگی رایلی مواجه شده است.

رادیوهای هوشمند از آشکارساز انرژی در شبکه استفاده می‌کنند. پس رادیوهای هوشمند در هر دوره از حسگری طیف برای یک باند مشخص، ابتدا اطلاعات مورد نیاز خود را از محیط پیرامون جمع‌آوری نموده و بر اساس آن آمارگان مورد نظر را محاسبه می‌کنند. سیگنال دریافتی گره‌ها در هر دو فرض  $H_0$  و  $H_1$  مستقل از هم فرض می‌شود زیرا علاوه بر فرض استقلال نویز جمع شونده، فاصله گره‌های شبکه از یکدیگر بیش از چند طول موج در نظر گرفته می‌شود. لذا محوشدگی رایلی نیز برای گره‌ها مستقل است. همچنین فرض می‌شود مشخصات آماری کانال گره‌ها مشابه و مستقل است، یعنی تابع چگالی احتمال نویز جمع شونده (نویز سفید گوسی) و محوشدگی کانال برای تمام گره‌ها یکسان است.

سایر پارامترهای آشکارساز به کار گرفته شده در گره‌ها نیز یکسان فرض می‌شوند. در نتیجه آمارگان محاسبه شده در گره‌ها تحت هر دو شرط وقوع  $H_0$  و  $H_1$  و نیز تصمیم آن‌ها مستقل و با توزیع یکسان، یعنی i.i.d است.

مشارکت دادن نمونه‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری تا جایی که LLRN به محدوده مورد نظر برسد، ادامه دارد. تعداد نمونه‌ها تا رسیدن به نتیجه مطلوب را  $N_{stop}$  می‌نامیم. در این صورت دو سطح آستانه  $\lambda_U$  و  $\lambda_L$  در گره‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$Pfa = \Pr(LLRN_{stop} \geq \lambda_U | H_0) \approx \frac{1 - e^{-\lambda_U}}{e^{-\lambda_U} - e^{-\lambda_L}} \quad (8)$$

$$Pmiss = \Pr(LLRN_{stop} \leq \lambda_L | H_1) \approx \frac{e^{-\lambda_U} - 1}{e^{-\lambda_U} - e^{-\lambda_L}} \quad (9)$$

$Pfa$  و  $Pmiss$  نشان‌دهنده میزان خطایی است که در طی آشکارسازی می‌تواند اتفاق بیفتد. مقادیر هر یک از این خطاها باید از یک سطح آستانه کمتر نگه داشته شود. به عبارت دیگر مطلوبست که:

$$Pfa \leq \alpha \quad (10)$$

$$Pmiss \leq \beta \quad (11)$$

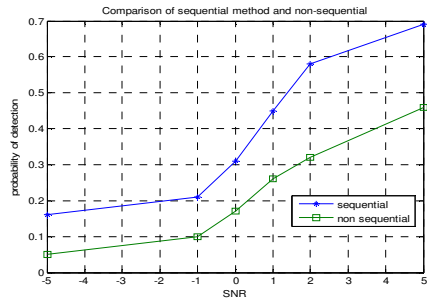
می‌توان نشان داد که سطوح آستانه، بر حسب پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  به شکل زیر قابل محاسبه است [۱۱]:

$$\lambda_U \approx \ln \left( \frac{1-\beta}{\alpha} \right) \quad (12)$$

$$\lambda_L \approx \ln \left( \frac{\beta}{1-\alpha} \right) \quad (13)$$

با توجه به محدودیت پهنای باند، فرض بر این است که در ارسال اطلاعات به مرکز (پهنای باند کانال‌های کنترلی) محدودیت وجود دارد. به همین جهت از ایده کوانتیزاسیون برای ارسال داده استفاده می‌شود. یعنی بعد از اینکه هر گره، مقدار انرژی را برای مشاهده خود محاسبه نمود، کوانتیزاسیون انجام داده و مقادیر کوانتیزه شده را برای مرکز می‌فرستد. در این مقاله، کوانتیزاسیون دو سطحی انجام می‌شود و مقادیر نسبت درست‌نمایی لگاریتمی به یکی از سه مقدار -۱ و ۰ و ۱ تبدیل می‌شود. پس از آن مقادیر کوانتیزه شده به مرکز تلفیق، ارسال می‌گردد

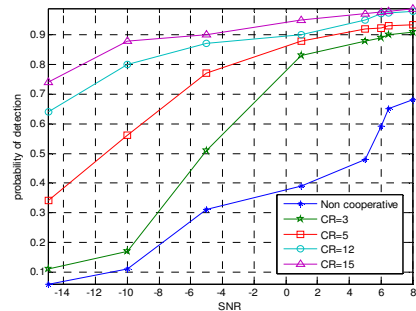
پیدا می‌کند و در نهایت عملکرد روش پیشنهادی به طور میانگین، بهتر از روش شهودی است.



شکل (۴): مقایسه روش پیشنهادی با روش غیر ترتیبی

Fig. (4): Comparison of the proposed method with the non-sequential method

در شکل (۵) نمودار احتمال آشکار سازی برای طرح پیشنهادی بررسی شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با وجود اینکه تعداد نمونه‌های کمتری را نسبت به کل نمونه‌ها بررسی نموده‌ایم، عملکرد آشکار سازی بسیار خوبی را داریم و کاهش نمونه‌ها باعث تخریب عملکرد آشکار سازی نشده است.



شکل (۵): منحنی احتمال آشکار سازی برای طرح پیشنهادی برای تعداد مختلف کاربران هوشمند

Fig. (5): Probability of detection versus SNR for proposed method with different CRs

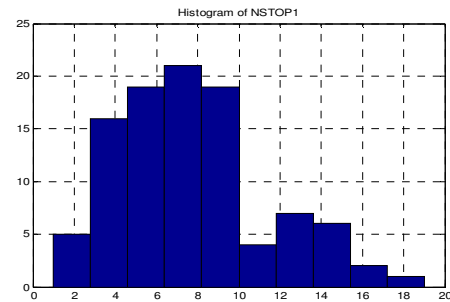
در شکل (۶) عملکرد آشکار سازی برای روش‌های مختلف ترکیب سخت و نرم داده ارائه شده است. شبیه سازی برای ۱۲ کاربر ثانویه و در SNRهای مختلف در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار  $\alpha = \beta = 0.1$  برای روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است. در شکل (۶) ملاحظه می‌شود که قانون AND برای تعداد زیاد کاربر ثانویه، عملکرد مناسبی را نشان نمی‌دهد ولی قانون OR عملکرد بهتری نسبت به قانون AND دارد. البته بدیهی است، زیرا در قانون OR اگر تنها یک کاربر ثانویه، حضور کاربر اولیه را تشخیص بدهد، طیف مشغول فرض می‌شود.

در شکل (۶) ملاحظه می‌شود که قانون AND برای تعداد زیاد کاربر ثانویه، عملکرد مناسبی را نشان نمی‌دهد ولی قانون OR عملکرد بهتری نسبت به قانون AND دارد.

در این سناریو، نویز دارای توزیع گوسی تصادفی مختلط با میانگین صفر و واریانس یک می‌باشد و سیگنال کاربر اولیه نیز دارای توزیع گوسی تصادفی مختلط با میانگین صفر و واریانس  $\gamma$  است.  $\gamma$  برابر با نسبت سیگنال به نویز و به صورت  $\gamma = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2}$  است. همچنین کانال با فیدینگ رایلی به همراه نویز سفید گوسی در نظر گرفته شده است.

ایستگاه پایه اطلاعات کاملی از توزیع‌های سیگنال و نویز دارد. در شبیه سازی‌ها (شبیه سازی کامپیوتری با استفاده از نرم افزار MATLAB)  $\alpha = \beta = 0.1$  در نظر گرفته شده است و مقدار دو سطح آستانه  $\lambda_U$  و  $\lambda_L$  در هر گره به ترتیب برابر با  $\pm 2/20$  در نظر گرفته شده است. در شکل (۳) هیستوگرام تعداد نمونه‌های مورد نیاز در روش پیشنهادی نمایش داده شده است. مشاهده می‌گردد که به جای بررسی تمامی مشاهدات کاربران هوشمند، با تعداد بسیار کمتری از نمونه‌ها، تصمیم گیری در مورد حضور کاربر اولیه مقدور شده است.

با توجه به نمودار هیستوگرام شکل (۳) مشاهده می‌شود که بیشترین تکرار برای رسیدن به نتیجه مطلوب در مورد حضور کاربر اولیه، با ۸ نمونه بوده است که بسیار حائز اهمیت است، زیرا به جای بررسی همه ۱۰۰ نمونه، با تعداد ۸ نمونه، نتیجه مطلوب حاصل شده است.



شکل (۳): هیستوگرام تعداد نمونه‌های بررسی شده برای رسیدن به تصمیم در مورد حضور و عدم حضور کاربر اولیه در SNR=0 dB

Fig. (3): Histogram of required samples for decision making of presence or absence of the PU, under SNR=0 dB

در روش غیر ترتیبی، مرکز تلفیق باید منتظر بماند تا گره‌ها نسبت درست‌نمایی را برای همه نمونه‌های دریافت شده خود محاسبه نموده و سپس کوانتیزاسیون را انجام دهند. بدیهی است که به نظر می‌رسد، چون تعداد نمونه‌ها بسیار زیاد است، زمان حسگری بیشتری خواهیم داشت. برای مقایسه دقیق‌تر روش آشکار سازی ترتیبی و غیر ترتیبی، میانگین تعداد نمونه‌ها در روش ترتیبی، محاسبه شده و سپس شبیه سازی به روش غیر ترتیبی برای متوسط تعداد نمونه‌های روش غیر ترتیبی انجام شده است. در شکل (۴) مقایسه عملکرد پیشنهادی با روش غیر ترتیبی مشاهده می‌شود. شبیه سازی مذکور برای ۵ کاربر هوشمند در نظر گرفته شده است. در روش غیر ترتیبی با فرض انتخاب  $\bar{N}=N$  بدیهی است که در بعضی حالات به احتمال آشکار سازی مناسب و در بعضی حالات به احتمال آشکار سازی ضعیف دست یابیم. در حالی که در روش ترتیبی، مشارکت داده‌ها تا رسیدن به نتیجه مطلوب ادامه

روش ترکیب نرم کوانتیزه استفاده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، این روش از لحاظ ایجاد سربراه مانند ترکیب سخت می‌باشد، چون نتایج تصمیم در هر گره به صورت تک بیتی و البته در سه سطح به مرکز گزارش می‌شود و از لحاظ عملکرد، عملکرد آشکارسازی خوبی را بسیار نزدیک به ترکیب نرم دارد.

#### ۵- نتیجه گیری

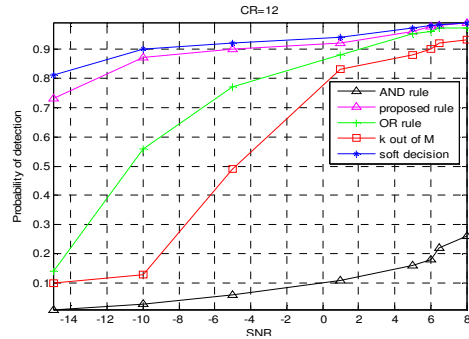
در این مقاله حسگری مشارکتی به روش متمرکز با استفاده از آشکار سازی ترتیبی و بر اساس نسبت لگاریتم درست نمایی و ترکیب نرم کوانتیزه شده ارائه شده است. به علت اینکه هم در گره‌ها و هم در مرکز، برای تعیین حضور کاربر اولیه، سطح اطمینان تعریف شده و به صورت ترتیبی الگوریتم اجرا می‌شود، لذا عملکرد آشکارسازی نسبت به روش‌های سخت بهبود یافته و به عملکرد روش نرم بسیار نزدیک است. همچنین نتایج، بهبود قابل توجه تعداد نمونه‌ها را با روش غیرترتیبی نشان می‌دهد.

#### پی‌نوشت:

- 1- Cognitive radio network
- 2- Primary user
- 3- Secondary user
- 4- Probability of false alarm
- 5- Probability of detection
- 6- Fading
- 7- Shadowing
- 8- Cooperative
- 9- Overhead
- 10- Hard decision combining
- 11- Soft decision combining

#### References

- [1] I.F. Akyildiz, W.Y. Lee, M.C. Vuran, S.Mohanty, "NeXt generation/dynamicspectrumaccess/cognitive radio wireless networks: A survey", Computer Networks, Vol. 50, No. 13, pp. 2127–2159, 2006.
- [2] I.F. Akyildiz, W.Y. Lee, K.R. Chowdhury, "CRAHNS: cognitive radio ad hoc networks", Ad Hoc Networks, Vol. 7, No. 5, pp. 810–836, 2009.
- [3] J. Ma, G. Li, B.H. Juang, "Signal processing in cognitive radio", Proceedings of the IEEE, Vol. 97, No. 5, pp. 805–823, 2009.
- [4] T. Yucek, H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications", IEEE Communications Surveys Tutorials, Vol. 11, No. 1, pp. 116–130, 2009.
- [5] D. Cabric, S. Mishra, R. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios", Proceedings of the IEEE/ACSSC, Vol. 1, pp. 772–776, Nov. 2004.
- [6] I.F. Akyildiz, Brandon F. Lo, Ravikumar Balakrishnan, S. Mohanty, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey", Physical Communication, Vol. 4, pp. 40–62, 2011.
- [7] W. Prawatmuang, "Cooperative spectrum sensing for cognitive radio", Ph.D. Thesis, University of Manchester, Faculty of Engineering and Physical Sciences, 2013.
- [8] A. Ghasemi, E. Sousa, "Collaborative spectrum sensing for opportunistic access in fading environments", Proceedings of the IEEE/DYSPAN, pp. 131–136, 2005.
- [9] S. Mishra, A. Sahai, R. Brodersen, "Cooperative sensing among cognitive radios", Proceedings of the IEEE/ICC, Vol. 4, pp. 1658–1663, 2006.
- [10] X. Zhou, J. Ma, G. Ye Li, Young, H. Kwon, A.C.K. Soong, "Probability based combination for cooperative spectrum sensing", IEEE Trans. on Communications, Vol. 58, No. 2, pp. 463–466, Feb. 2010.
- [11] Q. Zou, S. Zheng, A.H. Sayed, "Cooperative sensing via sequential detection", IEEE Trans. on Communications on Signal Processing, Vol. 58, No. 12, pp. 6266–6283, Dec. 2010.
- [12] S. Chaudhari, "Spectrum sensing in cognitive radio; Algorithms, Performance, and Limitations", Aalto University Publication Series Doctoral Dissertations, 2012.



شکل (۶): مقایسه روش‌های مختلف تصمیم‌گیری در مرکز  
Fig. (6): Comparison of different decision making methods in the center

البته بدیهی است، زیرا در قانون OR اگر تنها یک کاربر ثانویه، حضور کاربر اولیه را تشخیص بدهد، طیف مشغول فرض می‌شود. به همین دلیل قانون OR عملکرد آشکارسازی سیگنال را بهبود می‌بخشد. از طرف دیگر، در قانون AND همه کاربران ثانویه باید حضور کاربر اولیه را تشخیص بدهند تا طیف مشغول فرض شود. پس در قانون AND انتظار بهبود عملکرد آشکارسازی را نخواهیم داشت. همچنین نتایج نشان می‌دهد که قانون  $k$  تا از  $M$  تا عملکردی بین دو قانون AND و OR دارد.

با توجه به اینکه تصمیم‌گیری به روش نرم عملکرد بسیار خوبی را نشان می‌دهد. سربراه‌های ایجاد شده در روش نرم بسیار قابل توجه است زیرا همه داده‌های دریافت شده در هر گره، باید به مرکز گزارش شود و این با محدودیت پهنای باند کانال کنترلی سازگار نخواهد بود. از طرفی در روش سخت کاهش سربراه را خواهیم داشت ولی عملکرد آشکارسازی سیگنال کاربر اولیه مطلوب نخواهد بود. به همین دلیل از