

افزایش گذردهی رادیوشناختگر و بهبود عملکرد آن در حوزه سلامت

سیدعماد موسوی^۱ جواد زراعتکارمقدم^۲ حمید فرخی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران

emadmousavi@birjand.ac.ir

^۲ استادیار- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران

Javad.zeraatkar.m@birjand.ac.ir

^۳ دانشیار- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران

hfarrokhi@birjand.ac.ir

چکیده - فناوری‌های ارتباطات بی‌سیم در بسیاری از کاربردهای الکترونیکی حوزه سلامت برای ارسال داده‌های پزشکی و اطلاعات بیمار نقشی بی‌بدیل ایفا می‌کنند. با این حال، استفاده از این فناوری‌ها در یک محیط بیمارستانی با دو چالش عمده همراه است. اولین چالش، تداخل الکترومغناطیسی ایجاد شده بوسیله دستگاه‌های بی‌سیم برای دستگاه‌های بیو-پزشکی است که می‌تواند عملکرد آن‌ها را به شدت تحت تأثیر قرار داده و موجب خاموشی یا راه‌اندازی مجدد خودبخودی، اعوجاج شکل موج و ایجاد صدای زوزه در دستگاه‌ها شود. دومین چالش این است که دلیل وجود انواع گوناگون برنامه‌های الکترونیکی پزشکی که نسبت به هم اولویت‌های متفاوتی دارند، دسترسی آنها به کانال بی‌سیم نیز باید اولویت‌بندی شود. در این مقاله، از تکنولوژی رادیوشناختگر به منظور غلبه بر این چالش‌ها استفاده می‌کنیم؛ که یک تکنولوژی امیدوارکننده جهت افزایش بهره‌وری ارتباطات بی‌سیم از طریق استفاده بهینه از طیف فرکانسی و کاهش تداخل ناخواسته است. همچنین، به منظور افزایش بهره‌وری طیفی در محیط بیمارستان با استفاده از تکنولوژی رادیوشناختگر، روش جدیدی با عنوان حسگری و ارسال بطور همزمان پیشنهاد می‌دهیم. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی گذردهی و قابلیت حسگری بالاتری دارد و همچنین گویای دقت آن در مواجهه با چالش‌های مذکور است.

کلیدواژه- بهره‌وری طیفی، تله‌مدیسین، حسگری طیف، رادیوشناختگر، گذردهی.

تلفات و تأخیر دو فاکتور اصلی کیفیت خدمات (QoS) در برنامه‌های سلامت الکترونیکی هستند. به عنوان مثال، یک بیمار قلبی می‌تواند توسط یک برنامه‌ی زمان-حقیقی پایش بیمار به طور مداوم تحت نظارت باشد. اگر انتقال اطلاعات مهم فیزیولوژیکی به تأخیر بیافتد، بیمار ممکن است در صورت وجود شرایط غیرطبیعی، کمک‌های فوری لازم را به موقع دریافت نکند.

تکنولوژی رادیوشناختگر (CR) برای حل مشکل عدم استفاده‌ی بهینه از طیف فرکانسی برای نسل‌های آینده‌ی شبکه‌های بی‌سیم پیشنهاد شده است. تکنولوژی CR یک سیستم ارتباطی بی‌سیم است که موجب می‌شود کاربران ثانویه (SU) در زمان‌ها و مکان‌های مختلف بتوانند بطور فرصت‌طلبانه از طیف فرکانسی اختصاص داده شده به کاربران اولیه (PU) استفاده کرده و یا در باندهای فرکانسی یکسان در کنار PU ها، با

۱- مقدمه

بسیاری از دستگاه‌های پزشکی در محیط‌های بیمارستانی به تداخل الکترومغناطیسی (EMI) حساس هستند. بنابراین، همه‌ی سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم که برای کاربردهای سلامت الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ باید شرایط سازگاری الکترومغناطیسی (EMC) را برآورده سازند. مثلاً، دستگاه‌های بی‌سیم مورد استفاده در برنامه‌های بهداشت الکترونیکی باید توان انتقال خود را به منظور جلوگیری از تداخل مضر برای ادوات پزشکی موجود در آن منطقه محدود کنند. برنامه‌های سلامت الکترونیکی را می‌توان بر اساس نیازهای ارتباطی آن‌ها به چهار دسته طبقه‌بندی کرد: برنامه‌های زمان-حقیقی حیاتی، برنامه‌های زمان-حقیقی غیر حیاتی، برنامه‌های کنترل از راه دور و برنامه‌های اداری یا پشتیبانی.

کم‌ترین تداخل ممکن هم‌زیستی مسالمت آمیزی داشته باشند. CR ها طیف را به صورت پویا مشاهده می‌کنند و تنها در صورتی از آن استفاده می‌کنند که برای یک PU که دارای مجوز استفاده از طیف می‌باشد تداخل مضر ایجاد نکنند [۱]، [۲].

۱-۱- هم‌زیستی تکنولوژی‌های بی‌سیم مختلف در

کاربردهای سلامت الکترونیکی

در یک محیط خاص مانند بیمارستان، چندین تکنولوژی بی‌سیم مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال، شبکه‌ی بی‌سیم مبتنی بر IEEE 802.11 (WLAN) و Ultra-Wideband (UWB) IEEE 802.15.4a (WPAN) می‌تواند برای برنامه‌هایی با پهنای باند بالا مانند تله‌مدیسین و سیستم‌های اطلاعاتی بیمارستان استفاده شود. بلوتوث و ZigBee می‌تواند در شبکه‌های سنسور تعیین مکان بیمار به منظور پایش بیمار و کاربردهای توانبخشی فیزیکی استفاده شود. بسیاری از این فناوری‌ها در باند فرکانسی یکسان یا دارای همپوشانی کار می‌کنند. به عنوان مثال: IEEE 802.11b/g، بلوتوث و ZigBee از باند ۲/۴ گیگاهرتزی صنعتی، علمی و پزشکی (ISM) استفاده می‌کنند. بنابراین تداخل و مدیریت دسترسی به طیف مسئله‌ای حیاتی است [۳].

۲-۱- ارتباط پیوسته در بیمارستان

ارتباطات بی‌سیم می‌تواند تا حد زیادی پویایی و تحرک برنامه‌های سلامت الکترونیکی را بهبود دهد. داده‌های پزشکی می‌تواند به صورت پیوسته حتی در صورت متحرک بودن بیمار پایش شود. پزشکان و کارکنان بیمارستان باید قادر به دسترسی به اطلاعات بیمار و برنامه‌های پایش بیماران به صورت آنلاین باشند. برای پشتیبانی از خدمات ارتباط پیوسته و دستیابی به عملکرد بهتر برای برنامه‌های سلامت الکترونیکی، مدیریت تحرک (به عنوان مثال، رومینگ و هندآف) ضروری است.

۳-۱- امنیت اطلاعات سلامت

اطلاعات سلامت (داده‌های بیمار، داده‌های خدمات و داده‌های امکانات) حساس و محرمانه می‌باشند. سیستم باید خطایی در حد صفر داشته باشد تا هیچ‌گونه شنود غیر مجاز یا نفوذی صورت نگیرد. بنابراین، مکانیزم‌های قوی تشخیص هویت و رمزنگاری در برنامه‌های سلامت الکترونیکی مورد نیاز است. به عنوان مثال، در WLAN، روش‌های تشخیص هویت مبتنی بر IEEE 802.11i و 802.1x based می‌تواند مورد استفاده قرار

گیرد [۴].

۴-۱- کاربرد رادیوشناختگر در سلامت الکترونیکی

ارتباط بی‌سیم مبتنی بر رادیوشناختگر می‌تواند در شبکه‌های اورژانسی طراحی شده برای شرایط بحرانی مورد استفاده قرار گیرد. در رادیوشناختگری که برای استفاده در محیط بیمارستانی طراحی شده است، SU ها برای دسترسی به طیف فرکانسی علاوه بر توجه به حضور PU ها بایستی حضور کاربران حفاظت شده که همان دستگاه‌های پزشکی حساس به تداخل هستند را نیز در نظر بگیرند؛ که این دستگاه‌ها شامل دو دسته‌ی فعال و غیر فعال می‌باشند. دستگاه‌های پزشکی غیر فعال شامل انکوباتورها، پمپ‌های تزریق، دستگاه‌های بیهوشی و دستگاه شوک هستند. این دستگاه‌ها هیچ‌گونه سیگنال بی‌سیمی را انتقال نمی‌دهند؛ اما اجزاء الکترونیکی آن‌ها به EMI حساس هستند. دستگاه‌های پزشکی فعال می‌توانند با استفاده از سیگنال بی‌سیم، داده‌ها را انتقال دهند؛ به عنوان مثال: مانیتورهای تله‌متری، مانیتورهای هالتر بی‌سیم و مانیتور الکتروکاردیوگرافی بی‌سیم (ECG) [۵].

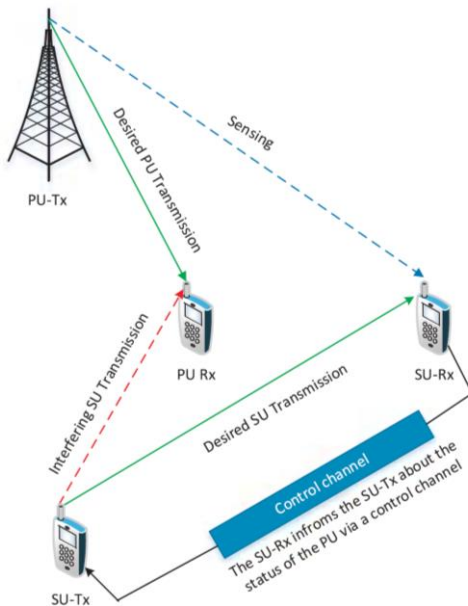
در سیستم‌های رادیوشناختگر متداول، کاربر ثانویه از یک الگوی گوش دادن قبل از گفتگو استفاده می‌کند که در آن قبل از تصمیم‌گیری برای دستیابی به طیف مجاز، حس می‌کند که کاربر اولیه بیکار یا فعال است. با این حال، این روش با چالش‌هایی روبرو است که مهم‌ترین آن‌ها کاهش گذردهی کاربر ثانویه است؛ زیرا در طول دوره‌ی حسگری هیچ ارسال داده‌ای صورت نمی‌گیرد. پژوهش‌های اولیه در زمینه‌ی حسگری عمدتاً بر روی روش‌های تخصیص شیار زمانی متمرکز بود که در آن‌ها حسگری و ارتباط در یک فرکانس مشخص و در بازه‌های زمانی مختلف انجام می‌شد. این امر موجب محدود شدن گذردهی رادیوشناختگر به دلیل عدم برقراری ارتباط تا زمان پایان عملیات حسگری می‌شود و از سوی دیگر به دلیل انجام عملیات حسگری در دوره‌های خاص و نه همیشه، موجب کاهش اطمینان عملکرد آشکارسازی می‌شود. روشن است که رادیوشناختگرها به پایش پیوسته و نه مقطعی قابلیت دسترسی به طیف خالی نیاز دارند. برای تحقق این امر، رادیوشناختگرهایی با قابلیت حسگری و ارسال بطور همزمان پیشنهاد شد. ساختار فریم حسگری طیف و ارسال داده بطور همزمان در شکل ۱ نشان داده شده است.

به طور کلی، پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده است به دو دسته‌ی عمده تقسیم می‌شوند، دسته‌ی اول این مفهوم را در سمت فرستنده‌ی SU اعمال می‌کنند [۹]-[۶] و دسته‌ی

می‌سازد. ابتدا، گیرنده‌ی ثانویه سیگنال را از فرستنده‌ی ثانویه کدگشایی می‌کند، آن را از مجموع سیگنال دریافتی کم می‌کند و سپس به منظور تشخیص حضور یا عدم حضور کاربر اولیه، حسگری را در سیگنال باقی‌مانده انجام می‌دهد. بر خلاف روش‌های سنتی، در روش پیشنهادی حذف ناقص سیگنال را در نظر می‌گیریم و ارزیابی می‌کنیم که چگونه خطاهای کدگشایی بر قابلیت اطمینان حسگری تأثیر می‌گذارد. همچنین، عبارت‌های تحلیلی را برای احتمال هشدار اشتباه بدست می‌آوریم. در نهایت، نتایج عددی ارائه شده، دقت تحلیل پیشنهادی را نشان می‌دهند.

۲- مدل سیستم پیشنهادی

یک سیستم رادیوشناختگر به صورت شکل ۲ شامل یک فرستنده‌ی اولیه (PU-Tx) و یک فرستنده‌ی ثانویه (SU-Tx) که به یک آنتن مجهز شده‌اند، در نظر می‌گیریم. هدف سیستم این است که با پیروی از مفهوم حسگری طیف و ارسال داده بطور همزمان، از طریق همکاری SU-Tx و SU-Rx تشخیص دهد که PU فعال یا بیکار است.



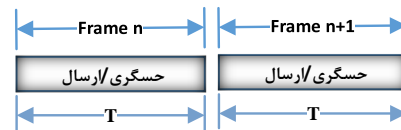
شکل ۲: مدل سیستم پیشنهادی

مسئله‌ی آشکارسازی می‌تواند به صورت آزمون فرضیه‌ی باینری زیر فرمول‌بندی شود:

$$\begin{cases} H_0: y = hs + w \\ H_1: y = x_p + hs + w \end{cases} \quad (1)$$

که h مشخص‌کننده ضریب کانال تخت از SU-Tx به SU-Rx است و مانند [۱۲] در کاربر ثانویه معلوم فرض می‌شود. توان

دوم با استفاده از همکاری بین فرستنده‌ی SU و یک SU غیرفعال [۱۱]، [۱۰] یا بین فرستنده‌ی SU و گیرنده‌ی SU از طریق یک کانال کنترل این مفهوم را ممکن می‌سازد [۱۲]. در تکنیک‌های دسته‌ی اول همان دستگاه CR حسگری و ارتباط را بطور همزمان انجام می‌دهد؛ که فرستنده به واحدهای حسگری و ارسال مجهز شده است. مسئله‌ی بحرانی این روش خودتداخلی (SI) است که بین مسیر حسگری و ارسال به دلیل نزدیکی آنتن‌ها ایجاد می‌شود. از این‌رو، عملکرد این روش به توانایی جداسازی آنتن‌های واحد ارسال و حسگری و حذف خودتداخلی بستگی دارد.

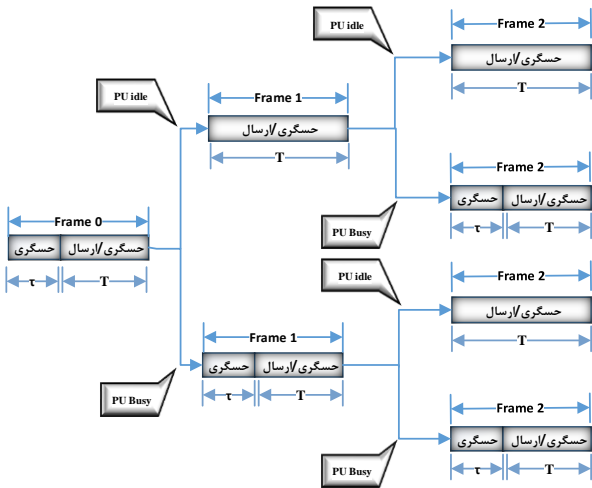


شکل ۱: حسگری و ارسال به طور همزمان

در [۱۲] روش متفاوتی پیشنهاد شده است که حسگری طیف و ارسال داده بطور همزمان از طریق همکاری فرستنده‌ی SU و گیرنده‌ی SU حاصل شده است که در گره‌های مختلف اجرا می‌شود. فرستنده‌ی SU داده‌ها را انتقال می‌دهد، در حالیکه گیرنده‌ی SU سیگنال را از فرستنده‌ی ثانویه کدگشایی می‌کند، آن را از مجموع سیگنال دریافتی کم کرده و در سیگنال باقی‌مانده، حسگری طیف را انجام می‌دهد. مزیت اصلی این تکنیک‌ها نسبت به رویکرد دسته‌ی اول این است که اولاً برای حسگری طیف از آنتن‌های اضافه استفاده نمی‌کند. از این‌رو، به راحتی می‌تواند در سیستم‌های فعلی بدون هیچ تغییر سخت‌افزاری اضافه اجرا شود. ثانیاً با مشکل خودتداخلی که پیش‌تر شرح داده شد مواجه نمی‌شود. علاوه بر این، با فرض استفاده از آشکارساز انرژی، این روش عملکرد آشکارسازی بسیار بهتری نسبت به استفاده از SU های غیرفعال نیز ارائه می‌دهد. دلیل آن این است که کدگشایی و حذف سیگنال ارسالی SU با استفاده از SU غیرفعال تقریباً غیرممکن است؛ زیرا نیاز به اطلاعاتی در مورد کانال، مدولاسیون، کدینگ و غیره دارد که در عمل به سختی یافت می‌شود. با این حال در [۱۲] فرض ایده‌آل کدگشایی کامل سیگنال مدنظر قرار گرفته است.

در این مقاله، سیستم رادیوشناختگر جدیدی ارائه می‌دهیم که گذرده‌ی و قابلیت حسگری بالاتری در مقایسه با سیستم‌های رادیوشناختگر سنتی دارد. ایده‌ی حسگری طیف و ارسال اطلاعات بطور همزمان پیشنهاد شده در این مقاله، این مفهوم را از طریق همکاری فرستنده‌ی ثانویه با گیرنده‌ی ثانویه ممکن

نظر می‌گیریم.



شکل ۴: ساختار فریم روش پیشنهادی حسگری و ارسال هم‌زمان

۲-۱- احتمال هشدار اشتباه و احتمال آشکارسازی

محاسبه‌ی سطح آستانه‌ی آشکارسازی انرژی (ϵ)، مستقل از سیگنال اولیه‌ی ارسالی است. بنابراین، روش آشکارسازی پیشنهادی را می‌توان به وسیله‌ی بدست آوردن احتمال هشدار اشتباه (P_{FA}) ارزیابی کرد، که بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$P_{FA,appr} = Q \left(\frac{\epsilon - N(1 - P_{eB})\mu_{H_{00B}} - NP_{eB}\mu_{H_{01B}}}{\sqrt{N(1 - P_{eB})V_{H_{00B}} + NP_{eB}V_{H_{01B}}}} \right) \quad (2)$$

اندیس B_{appr} مشخص‌کننده تقریب تحت سناریوی BPSK است. N تعداد نمونه‌ها است، P_{eB} احتمال خطا برای سیگنال‌های BPSK و برابر $P_{eB} = Q \left(\sqrt{\frac{\gamma P_S}{\sigma_w^2}} \right)$ است. $\mu_{H_{00B}}$ ، $\mu_{H_{01B}}$ ، $V_{H_{00B}}$ ، $V_{H_{01B}}$ میانگین‌ها و واریانس‌های آماری آزمون تحت فرضیه‌های H_{00B} و H_{01B} هستند. حال بر اساس این رابطه، محاسبه ϵ نیازمند معکوس تابع Q است.

عبارت تئوری برای P_D نیز برای سناریوی سیگنال SU با مدولاسیون BPSK، با جایگزین کردن $\sigma_w^2 + \sigma_{pu}^2$ به جای σ_w^2 در قسمت‌های مرتبط بوسیله‌ی رابطه هشدار اشتباه به دست می‌آید؛ که به صورت زیر است:

$$P_{D,appr} = Q \left(\frac{\epsilon - N(1 - \hat{P}_{eB})\mu_{H_{10B}} - N\hat{P}_{eB}\mu_{H_{11B}}}{\sqrt{N(1 - \hat{P}_{eB})V_{H_{10B}} + N\hat{P}_{eB}V_{H_{11B}}}} \right) \quad (3)$$

۳- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش، روش پیشنهادی را از نظر متوسط گذردهی

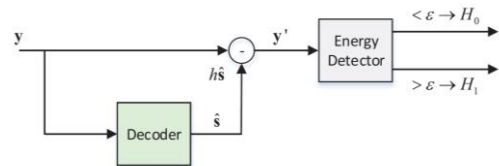
کانال γ می‌باشد. $s = [s(1) \dots s(N)]^T$ سیگنال ارسال شده توسط SU-Tx با توان P_S و $x_p = [x_p(1) \dots x_p(N)]^T$ سیگنال دریافت شده از PU-Tx است. $w = [w(1) \dots w(N)]^T$ جمع شونده در آنتن گیرنده‌ی SU-Rx که یک بردار گوسی مختلط مستقل و با توزیع یکسان (i.i.d.) با میانگین صفر و ماتریس کوواریانس نویز بصورت $E\{ww^H\} = \sigma_w^2 I_N$ مدل شده است که I_N نشان‌دهنده ماتریس واحد با اندازه N می‌باشد. مجموعه سیگنال دریافتی در SU-Rx با $y = [y(1) \dots y(N)]$ نشان داده شده است.

اولین فریم انتقال داده، SU-Tx را به دو شیار زمانی تقسیم می‌کند:

۱. دوره حسگری (τ واحد زمانی)

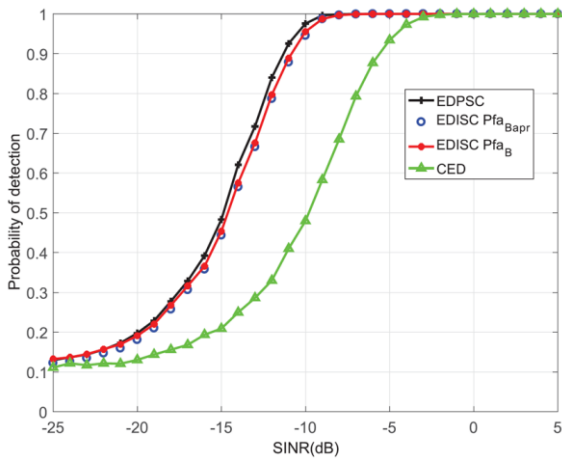
۲. دوره ارسال (T واحد زمانی)

اگر در طول دوره‌ی حسگری PU بیکار تشخیص داده شد، SU-Tx حالت خود را تغییر داده و شروع به ارسال داده به SU-Rx می‌کند. در فریم‌های بعدی SU-Rx سیگنال ارسال شده از SU-Tx را کدگشایی کرده و از مجموع کل سیگنال دریافتی کم می‌کند. سپس یک آشکارساز به سیگنال باقی‌مانده برای حسگری طیفی اعمال می‌شود. در انتهای فریم اگر SU تغییر در وضعیت PU تشخیص دهد (PU بعد از دوره‌ی حسگری شروع به ارسال کند) آنگاه SU-Rx از طریق یک کانال کنترلی، SU-Tx را آگاه می‌کند و SU-Tx به منظور اجتناب از ایجاد تداخل با PU ارسال را متوقف می‌کند. در فریم بعدی SU-Tx دوباره فریم را به دو شیار زمانی تقسیم کرده و فرایند بالا تکرار می‌شود. با این حال، در انتهای فریم اگر SU تشخیص دهد که باند فرکانسی بیکار است (نبودن PU)، در فریم بعدی نیازی به تخصیص زمان برای حسگری وجود ندارد و آنگاه ایده‌ی حسگری طیف و ارسال داده بطور همزمان برای بهبود گذردهی SU ها اعمال می‌شود. ساختار گیرنده‌ی ثانویه در شکل ۳ و ساختار فریم این روش در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۳: ساختار گیرنده‌ی روش پیشنهادی برای حسگری و ارسال هم‌زمان

روش پیشنهادی می‌تواند برای هر نوع مدولاسیون استفاده شود. اما در این مرحله برای سادگی، سیگنال ارسال شده از SU را BPSK و نویز را یک بردار گوسی حقیقی (غیر مختلط) در



شکل ۶: احتمال آشکارسازی بر حسب $SINR_{PU}$

۴- نتیجه‌گیری

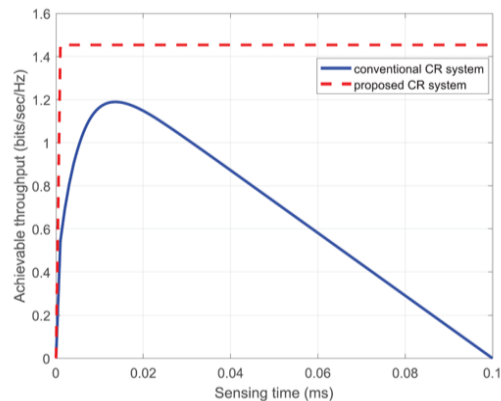
در این مقاله، سیستم رادیوشناختگر جدیدی جهت استفاده در بخش‌های سلامت الکترونیک معرفی شد. سیستم پیشنهادی با استفاده‌ی هوشمند از طیف فرکانسی، کیفیت خدمات دستگاه‌های دیگر در محیط بیمارستان را حفظ می‌کند. ایده‌ی حسگری طیف و ارسال اطلاعات بطور همزمان با در نظر گرفتن حذف ناقص سیگنال مورد بررسی و همچنین چگونگی تأثیر خطاهای کدگشایی بر قابلیت اطمینان آشکارسازی سیستم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل پیشنهادی نشان داد که عملکرد آشکارسازی روش پیشنهادی بطور قابل توجهی از روش‌های متداول ED بهتر است. بنابراین، استفاده از سیستم پیشنهادی در محیط بیمارستان باعث افزایش دقت درمان، ارائه‌ی خدمات به موقع به بیماران و همچنین افزایش راندمان دستگاه‌های مختلف بیمارستانی می‌شود.

مراجع

- [1] [1] IEEE 802.22 draft standard, "IEEE P802.22TM/D0.1 Draft Standard for Wireless Regional Area Networks," *IEEE 802.22 doc. no. 22-06-0068-00-0000*, May 2006.
- [2] [2] C. Cordeiro, K. Challapali, and M. Ghosh, "Cognitive PHY and MAC layers for dynamic spectrum access and sharing of TV bands," *ACM 1st Intl. Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum (TAPAS)*, pp.3-es, Aug. 2006.
- [3] [3] A. Soomro and D. Cavalcanti, "Opportunities and Challenges in using WPAN and WLAN Technologies in Medical Environments," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 45, no. 2, Feb. 2015, pp. 114–22.
- [4] [4] S. D. Baker and D. H. Hoglund, "Medical-grade Mission-Critical Wireless Networks," *IEEE Eng. Med. Bio. Mag.*, vol. 27, no. 2, Mar.–Apr. 2008, pp. 86–95.
- [5] [5] E. Hossain and V. K. Bhargava, Eds., *Cognitive Wireless Communication Networks*, Springer, 2013.
- [6] [6] J. Heo, H. Ju, S. Park, E. Kim, and D. Hong, "Simultaneous sensing and transmission in cognitive radio," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 4, pp. 1948–1959, Apr. 2014.
- [7] [7] E. Tsakalaki, O. N. Alrabadi, A. Tatomirescu, E. de Carvalho, and G. F. Pedersen, "Concurrent communication and sensing in

قابل‌دستیابی با روش‌های متداول مقایسه می‌کنیم. طول فریم $T = 100 \text{ ms}$ ، فرکانس نمونه‌برداری $f = 6 \text{ MHz}$ و $P_D = 0.9$ فرض شده است. $SINR$ ارسالی کاربر ثانویه و $SINR$ دریافتی کاربر اولیه برابر $SINR_{PU} = -20 \text{ dB}$ و $SINR_{SU} = 7 \text{ dB}$ در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۵ متوسط‌گذردهی قابل‌دستیابی را در مقایسه با زمان حسگری τ نشان می‌دهد. واضح است که سیستم رادیوشناختگر پیشنهادی با وجود در نظر گرفتن حذف ناقص سیگنال، متوسط‌گذردهی قابل‌دسترسی بالاتری نسبت به سیستم متداول دارد.



شکل ۵: مقایسه‌ی گذردهی روش پیشنهادی و روش سنتی

در شکل ۶ نتایج شبیه‌سازی به منظور تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان آشکارسازی انرژی (ED) با حذف ناقص سیگنال (EDISC) برای فریمی که در آن حسگری طیف و ارسال اطلاعات بطور همزمان رخ می‌دهد، ارائه می‌شود. در این شکل، روش پیشنهادی با روش آشکارسازی انرژی با حذف کامل سیگنال (EDPSC) که در [۱۲] ارائه شده و همچنین با حالتی که فرستنده ثانویه با استفاده از روش سنتی (CED) گیرنده ثانویه را از وضعیت PU آگاه می‌کند مقایسه می‌شود. برای سادگی فرض می‌شود که PU دارای توزیع گوسی با میانگین صفر و واریانس σ_{PU}^2 است؛ در حالیکه سیگنال ارسال شده از فرستنده‌ی ثانویه BPSK است. مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی احتمال آشکارسازی بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.

- cognitive radio devices: Challenges and an enabling solution,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, no. 3, pp. 1125–1137, Aug. 2013.
- [8] [8] Y. Liao, T. Wang, L. Song, and Z. Han, “Listen-and-talk: Protocol design and analysis for full-duplex cognitive radio networks,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 1, pp. 656–667, Jan. 2017.
- [9] [9] S. K. Sharma, T. E. Bogale, L. B. Le, S. Chatzinotas, X. Wang, and B. Ottersten, “Two-phase concurrent sensing and transmission scheme for full duplex cognitive radio,” in *Proc. IEEE 84th Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall)*, Sep. 2016, pp. 1–5.
- [10] [10] S. H. Song, K. Hamdi, and K. B. Letaief, “Spectrum sensing with active cognitive systems,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 6, pp. 1849–1854, Jun. 2010.
- [11] [11] W. Lee and D. H. Cho, “Concurrent spectrum sensing and data transmission scheme in a CR system,” in *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. (WCNC)*, Apr. 2012, pp. 1326–1330.
- [12] [12] S. Stotas and A. Nallanathan, “On the throughput and spectrum sensing enhancement of opportunistic spectrum access cognitive radio networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 97–101, Jan. 2012.