حس کردن طیف به شیوه همکارانه در رادیو هوشمند

زهرا عاشوری ، پریا رضایی‌نیا

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

چکیده

گسترش روزافزون کاربردهای سیستم های مخابراتی بی سیم موجب کمبود پهنای باند برای تخصیص به نیازهای جدید شده است؛ این در حالی است که تعداد کمی از باندهای فرکانسی با ترافیک سنگین استفاده می شوند. بنابراین این کمبود پهنای باند تنها در اثر سیاست ایستای طیفی به وجود آمده است.رادیو هوشمند یک تکنولوژی جدید برای استفاده بهینه از طیف است. رادیو هوشمند بیان می دارد که می توان در مواقعی که کاربر مجوز دار از طیف استفاده نمی کند؛ آن را در اختیار کاربر ثانویه قرار داد . در این مقاله ابتدا مقدمات رادیو هوشمند بیان می شود، سپس حس کردن طیف و روشهای مختلف آن در بخش دوم معرفی می شوند. سپس در بخش سوم روش حس کردن به شیوه همکارانه به عنوان یکی از روش‌های مناسب برای طیف سنجی توضیح داده می شود. .

کلمات کلیدی : رادیو هوشمند ، حس کردن طیف ، روش‌های همکارانه

۱- مقدمه

در حال حاضر رشد سریعی در استفاده از وسایل بی‌سیم در سراسر جهان به وجود آمده است و اهمیت دسترسی بی‌سیم در حال افزایش می‌باشد. با گسترش روز افزون کاربردهای بی‌سیم، نیاز به پهنای باند بیشتر نیز افزایش می‌یابد و کمبود پهنای باند آزاد باعث شده است که تخصیص پهنای باند به کاربر جدید دشوار شده است. باند فرکانسی نیز در حال حاضر به طور بهینه استفاده نمی-شود. برای حل این مشکل ایده رادیو هوشمند شکل گرفت. رادیو هوشمند، رادیویی است که توانایی حس کردن محیط اطراف خود را داراست و به صورت پویا به طیف دسترسی پیدا می‌کند. همچنین به منظور استفاده بهینه از طیف فرکانسی موجود، پیوسته خود را با فرکانس‌ها، سطوح توان و پروتکل‌های مختلف در جهت افزایش بازدهی تطبیق می‌دهد. تکنولوژی رادیو هوشمند می‌تواند اطلاعاتی از محیط اطراف خود به دست آورد. بنابراین قسمت هایی از طیف را که در یک زمان و مکان مشخصی استفاده نشده‌اند را مشخص می‌کند و سپس بهترین قسمت طیف تعیین می‌شود. مشکل اصلی CR، تشخیص دقیق سیگنال‌های ضعیف کاربر دارای مجوز روی گستره وسیع طیفی می‌باشد. اگر CR این سیگنال ها را تشخیص ندهد و اقدام به ارسال در آن باند فرکانسی کند با کاربر مجوزدار تداخل پیدا می کند. [۱]

رادیوی هوشمند علاوه بر شناخت طیف مورد استفاده در اطرافش قابلیت برنامه‌ریزی شدن به صورت دینامیکی را دارد. در واقع می-تواند روی فرکانس‌های مختلف به مخابره اطلاعات بپردازد و با توجه به امکانات سخت‌افزاری از تکنولوژی‌های دسترسی و ارسال مختلف استفاده کند.

فعالیت‌های رادیوهوشمند عبارتند از :

۱)حس کردن طیف[1] : وظیفه ی این تابع حس کردن باندهای فرکانسی آزاد و استفاده ی مشترک از طیف بدون ایجاد تداخل جدی با دیگر استفاده کننده ها می باشد .

۲) مدیریت طیف[2] : استفاده از بهترین باند فرکانسی در دسترس از وظایف این تابع می باشد .

۳) تحرک‌پذیری طیف[3] : وظیفه ی این بخش حفظ نیازمندی های یک سیستم مخابرات یکپارچه در هنگام جابجایی باند فرکانسی است.

۴) به اشتراک گذاشتن طیف[4] : تهیه یک روش زمانبندی عادلانه بین استفاده کننده های XG و عملکرد آنها به صورت همزمان با یکدیگر از وظایف این تابع می باشد.

---

[1] Spectrum Sensing

[2] Spectrum Management

[3] Spectrum Mobility

[4] Spectrum Sharing

در ادامه این مقاله ابتدا دربخش اول حس کردن طیف در رادیو هوشمند و روش‌های مختلف آن بیان می‌شود. در بخش دوم روش همکارانه به عنوان یکی از بهترین روش‌ها برای طیف‌سنجی معرفی می‌شود و تکنیک‌های مختلف حس کردن همکارانه و انواع روش-های آن توضیح داده می‌شوند. در بخش چهارم ارسال داده به شکل سخت و در بخش پنجم ارسال داده به شکل نرم توضیح داده می‌شوند. در ادامه روش تلفیق سخت و نرم معرفی می‌شود. در بخش آخر نیز نتیجه‌گیری کلی آورده شده است.

۲- حس‌کردن طیف در رادیو هوشمند

مهمترین مسئله در رادیو هوشمند حس‌کردن حفره‌های طیفی است. یک رادیو هوشمند به گونه ای است که آگاه و حساس به تغییرات در طبیعت اطرافش باشد و بتواند حفره‌های طیفی را تشخیص دهد. از آن‌جا که کاربر ثانویه به هیچ عنوان نباید در استفاده کاربر اولیه از کانال اخلال ایجاد نماید، رادیو هوشمند باید بتواند با سرعت و دقت قابل قبولی حضور کاربر اولیه در محیط را تشخیص داده و کانال را ترک نماید. ایده اصلی در این تکنولوژی استفاده بهینه از طیف است. با توجه به این نیاز رادیو هوشمند باید بتواند باندهای خالی را تشخیص دهد. برای حس‌کردن سیگنال-های ضعیف ، سیستم‌های رادیو هوشمند باید حساسیت بسیار بیشتری نسبت به سیستم‌های رادیویی معمولی داشته باشند.

به طور کلی روش‌های حس‌کردن طیف در دو گروه اصلی طبقه بندی می‌شوند که عبارتند از [۲] :

۱ – آشکارسازی فرستنده‌های اولیه[5]

۲ – روش دمای تداخل

علاوه بر این تقسیم‌بندی حس‌کردن طیف می‌تواند به دو روش همکارانه[6] ویا غیر همکارانه[7] نیز انجام شود. انواع روش‌های آشکارسازی فرستنده‌های اولیه عبارتند از :

آشکارساز انرژی[8]

آشکارسازی بر اساس شکل موج[9]

آشکارسازی براساس خاصیت ایستانی گردشی[10]

آشکارسازی براساس شناخت رادیویی[11]

آشکارسازی فیلتر منطبق[12]

[5] Primary transmitter detection

[6] Cooperative Spectrum Sensing

[7] Non- Cooperative Spectrum Sensing

[8] Energy Detection

[9] Wave-form Based Sensing

[10] Cyclostationarity Based Sensing

[11] Radio Identification Based Sensing

[12] Matched Filtering

که در این میان به جز روش آشکارساز انرژی سایر روش‌ها براساس اطلاع از یک ویژگی از سیگنال دریافتی کار می‌کنند. روش آشکارساز انرژی ساده‌ترین و پرکاربردترین نوع آشکارسازی است و در بسیاری از روش‌های همکارانه نیز به عنوان آشکارساز در هر گره استفاده می‌شود.

عملکرد روش آشکارساز انرژی به این ترتیب است که در ابتدا سیگنال ورودی توسط یک فیلتر میان‌گذر فیلتر می‌شود تا پهنای باند موردنظر برای بررسی انتخاب شود . سپس سیگنال فیلتر شده به توان ۲ رسیده و در دوره ی مشاهده انتگرال‌گیری می‌شود و در نهایت خروجی انتگرال‌گیر با یک سطح آستانه مقایسه شده تا وجود یا عدم وجود کاربران دارای مجوز در باند موردنظر معلوم شود. کارایی الگوریتم آشکارسازی با دو احتمال p_d[13] و p_f[14] مشخص می‌شود. p_d احتمال آشکارسازی سیگنال است در حالتی که واقعا سیگنال کاربر اولیه وجود داشته است.) p_f یا احتمال هشدار کاذب، احتمال این است که تصمیم به حضور سیگنال گرفته شود در حالی که سیگنال وجود ندارد. در واقع p_f و p_d به صورت زیر تعریف می‌شود:[۷]

$$P_D = P_r(M > \lambda | H_1) \qquad (۱)$$

$$P_F = P_r(M > \lambda | H_0) \qquad (۲)$$

آشکارسازی به صورت همکارانه به روش‌های حس‌کردن طیفی گفته می‌شود که اطلاعات از چندین کاربر ثانویه برای آشکارسازی کاربر اولیه جمع آوری می‌شود. در بخش بعد این روش به طور کامل بیان می‌شود.

۳- آشکارسازی به صورت همکارانه

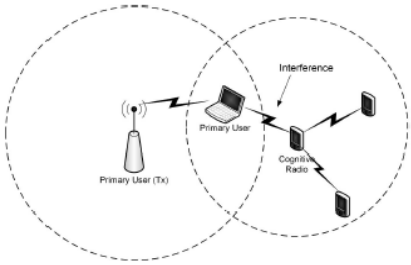
حس‌کردن همکارانه این امکان را فراهم می‌کند که به صورت دقیق‌تر و سریع‌تر حضور سیگنال کاربر اولیه تشخیص داده شود. ایده حس‌کردن به صورت همکارانه، سبب بهبود در آشکارسازی کاربر اولیه می‌شود زیرا به دلیل امکان ضعیف شدن سیگنال درهنگام ارسال روش آشکار سازی فرستنده وابسته به قدرت گیرنده دریافت کننده می‌باشد و در صورت کم بودن این توان احتمال خطا زیاد می‌شود. همچنین علاوه بر این مشکل، مسئله‌ای به نام مسئله کاربر اولیه پنهان[15] نیز وجود دارد که در شکل ۱ نشان داده شده است. فرض کنیدکه یک فرستنده اولیه در حال ارسال سیگنال برای یک گیرنده اولیه است. کاربر ثانویه‌ای در

[13] Probability of Detection

[14] Probability of false alarm

[15] Hidden primary user problem

وضعیتی قرار گرفته که سیگنال فرستنده اولیه را دریافت نمی‌کند و وارد محیط شده و تشخیص به خالی بودن کانال می‌دهد و در کانال مذکور ارسال می کند. از طرفی گیرنده اولیه در مکانی قرار دارد که سیگنال کاربر ثانویه را دریافت می‌کند و بنابراین باعث بروز تداخل برای او می‌شود[۷]



شکل ۱ : مسئله کاربر اولیه پنهان

در حالت کلی عملکرد روش حس‌کردن به شیوه همکارانه به این صورت است که ابتدا هر گیرنده ثانویه اندازه‌گیری‌های حس‌کردن طیف محلی خودش را به طور جداگانه انجام می‌دهد. سپس تصمیم‌گیری روی اینکه آیا کاربر اولیه حضور دارد یا نه به صورت مرکزی و یا توزیع شده انجام می‌گیرد. عملکرد روش مرکزی به این صورت است که یک ایستگاه اصلی نقش جمع آوری همه‌ی اطلاعات حس‌کردن از کاربران ثانویه را دارد و حفره‌های طیفی را به این صورت تشخیص می‌دهد اما در روش توزیع شده مشاهده‌ها در بین کاربران ثانویه تبادل می‌شود. یک مزیت روش غیرمتمرکز بر روش متمرکز مقیاس‌پذیری آن است. در حالت کلی در روش-های غیرمتمرکز هر نود می‌تواند تنها با نودهای همسایه خود تبادل اطلاعات کند و به همین جهت پیچیدگی و هزینه در این روش با افزایش نودهای موجود در شبکه افزایش نمی‌یابد.

در آشکارسازی به شیوه همکارانه، با افزایش تعداد گیرنده‌های ثانویه در همکاری با یکدیگر، احتمال عدم آشکارسازی برای همه‌ی کاربران بسیار کوچک خواهد شد و در نتیجه احتمال خطا کاهش می‌یابد. مزیت بزرگ آشکارسازی به صورت همکارانه این است که ابهام در تشخیص سیگنال را برای کاربر ثانویه کاهش می‌دهد. در واقع این روش محوشدگی[۱۶] و سایه انداختن[۱۷] و چند مسیره بودن[۱۸] کانال که از عوامل اصلی افزایش احتمال خطا در روش مستقیم می‌شوند را کاهش می‌دهد.[۳] البته در کنار مزایایی که روش همکارانه دارد دارای معایبی از قبیل افزایش هزینه ترافیک سربار، نیاز به کانال کنترلی و پیچیدگی نیز می‌باشد .

[16] Fading
[17] Shadowing
[18] Multipath

هر چند در بسیاری از مقالات کانال کنترلی (کانال بین گره‌ها و مرکز) ایده‌آل فرض می‌شود، اما در واقع این کانال یک کانال بی-سیم بوده و عواملی مانند نویز، محوشدگی و سایه‌افکنی موجب افت کارایی در مرکز به دلیل وجود خطا در دریافت داده از گره‌ها خواهد شد. البته باید توجه کرد که هر گره برای سیگنال کاربر اولیه یک گیرنده غیرمخاطب محسوب می‌شود. در مقابل، مرکز در فاز دریافت اطلاعات، گیرنده مخاطب گره‌ها است، و در نتیجه از پارامترهای سیگنال به طور کامل اطلاع دارد. بنابراین خطای ناشی از دریافت غلط اطلاعات گره‌ها توسط مرکز در مقابل خطای ناشی از آشکارسازی اشتباه در گره‌ها در بسیاری مواقع قابل صرف نظر است. اما در شرایطی که کانال کنترلی با سایه‌افکنی و یا محو شدگی شدید مواجه است، خطای ایجاد شده می‌تواند بر کارایی اثر نامطلوب قابل توجهی بگذارد. در برخی مقالات نشان داده شده که وجود خطا در کانال کنترلی منجر به ایجاد دیوار هشدار کاذب[۱۹] می‌شود. این بدان معنا است که امکان کمتر شدن احتمال هشدار کاذب از یک حد مشخص وجود ندارد. برای حل این مسئله روش-هایی معرفی شده‌اند از جمله استفاده از آرایه آنتن[۲۰] مجازی (با همکاری چند رادیوی هوشمند نزدیک به هم) و یا به کارگیری رویکردهای کدینگ زمان- مکان[۲۱].

آشکارسازی به روش همکارانه در یک نوع دیگر تقسیم بندی به دو صورت نرم[۲۲] و سخت[۲۳] وجود دارد. در روش سخت، هر نود[۲۴] به صورت محلی تصمیم به حضور یا عدم حضور سیگنال می‌گیرد ونتیجه آن را با یک بیت (۰ یا ۱) برای مرکز یا دیگر نودها ارسال می‌کند. مزیت این روش سادگی آن و نیاز به پهنای باند کم است. اما در روش داده نرم، آمارگان به دست آمده ارسال می‌شود. این روش موجب اشغال پهنای باند بیشتر می‌شود ولی عملکرد این روش از روش ارسال داده سخت بهتر است[۲]. در ادامه این روش-ها توضیح داده می‌شوند.

۴- روش‌های ارسال داده سخت

در حالت ارسال داده سخت، متداول‌ترین روش‌ها میان قوانین موجود، قانون OR، AND و M از N هستند. در قانون OR، اگر حداقل یک نود تشخیص به حضور سیگنال بدهد، مرکز تصمیم به حضور سیگنال در کانال مذکور می‌گیرد. در حالی که در روش AND، فقط در صورتی که تمام نودها کانال را اشغال تشخیص دهند، تصمیم به حضور سیگنال گرفته شده و در غیر این صورت

[19] False alarm wall
[20] Antenna array
[21] Time- space coding
[22] Soft
[23] Hard
[24] Node

کانال خالی اعلام می‌شود. در روش M از N، اگر M نود از N نود اعلام کردند که کانال اشغال است، کانال توسط مرکز اشغال اعلام می‌شود. هر یک از این روش‌ها می‌تواند به صورت مرکزی و توزیع شده باشد. در صورت استفاده از روش مرکزی، هر نود نتیجه تصمیم‌گیری روی وجود یا عدم وجود سیگنال را به صورت یک بیت ۰ یا ۱ برای مرکز ارسال می‌کند. در حالی که در روش توزیع شده این بیت بین نودها ارسال می‌شود. علاوه بر این روش‌ها ، روش‌های دیگری مانند روش سانسور داده نیز وجود دارد.[۹] در این روش از دو سطح آستانه برای تصمیم گیری استفاده می‌شود. اگر آمارگان انرژی از سطح آستانه اول کوچکتر باشد بیت صفر و اگر از سطح آستانه دوم بزرگتر باشد بیت یک ارسال می‌شود. در صورتی که آمارگان انرژی بین این دو سطح قرار گیرد نود هیچ بیتی برای مرکز یا سایر نودها ارسال نمی‌کند. روش‌های OR ، AND و M از N در ادامه با فرض آشکارساز انرژی در هر نود و روش مرکزی توضیح داده می‌شوند.

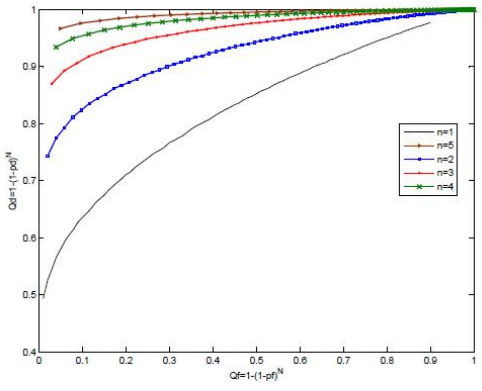
۴-۱. روش OR

همان‌طور که توضیح داده شد در روش OR اگر یکی از نودها حضور سیگنال کاربر اولیه را تشخیص دهد تصمیم مرکز مبنی بر حضور سیگنال خواهد بود. در این روش گرچه به نظر می‌رسد که هم احتمال هشدار کاذب به دلیل زیاد بودن امکان دریافت اشتباه در یک گیرنده و هم احتمال آشکار سازی افزایش می‌یابد ؛ اما از نتایج به دست آمده در شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که در مجموع کارایی شبکه آشکارسازی افزایش می‌یابد . [۴]

احتمال آشکارسازی و احتمال هشدار کاذب در این روش به صورت زیر هستند :

$$Q_d = 1 - (1 - p_d)^n \qquad (۳)$$

$$Q_f = 1 - (1 - p_f)^n \qquad (۴)$$



شکل۲ : منحنی ROC در روش OR

در روابط (3) و (4) p_f و p_d به ترتیب احتمال هشدار کاذب و احتمال آشکارسازی در هر نود و n تعداد نودها هستند. Q_dو Q_f نیز احتمال آشکارسازی و هشدار کاذب برای مرکز هستند. در شکل ۲ نتیجه شبیه‌سازی این روش برای تعداد گره‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که Q_d و Q_f که احتمال آشکارسازی و احتمال هشدار کاذب در حالت همکارانه هستند بیشتر از حالت یک گیرنده تنها است و با افزایش n افزایش می‌یابند. در واقع با زیاد شدن تعداد نودها احتمال آنکه در یک کانال دارای فیدینگ حداقل یکی از نودها سیگنال را حس‌کند بالا می‌رود و در نتیجه احتمال آشکارسازی نیز افزایش می‌یابد.

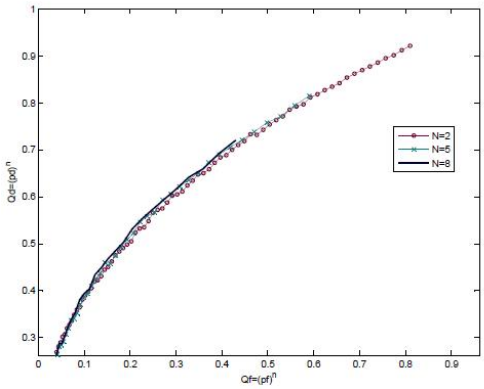
۴-۲. روش AND

در این روش پس از آنکه هر نود به صورت محلی در مورد حضور یا عدم حضور کاربر اولیه تصمیم‌گیری کرد ؛ تصمیم مرکز در صورتی نشان‌دهنده حضور کاربر مجوزدار است که همه نودها سیگنال را دریافت کرده باشند. به عبارت دیگر اگر حتی یکی از نودها عدم حضور کاربر اولیه را اعلام کند؛ تصمیم مرکز مبتنی بر این تشخیص خواهد بود. در این روش احتمال آشکارسازی و احتمال هشدار کاذب به صورت زیر خواهند بود :

$$Q_d = (p_d)^n \qquad (۵)$$

$$Q_f = (p_f)^n \qquad (۶)$$

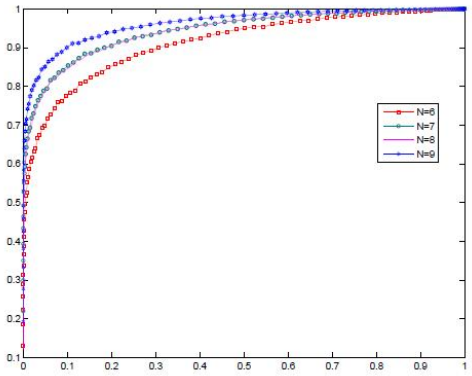
همان‌گونه که از روابط بالا مشخص است در این روش آشکارسازی با افزایش تعداد نودهای شبکه احتمال آشکارسازی و احتمال هشدار کاذب کاهش می‌یابند. در شکل ۳ شبیه‌سازی روشAND مشاهده می‌شود. مشخص است که با افزایش تعداد نودها تغییر چندانی در عملکرد این روش به وجود نمی‌آید. واضح است که این روش در مقایسه با روش OR کارایی ضعیف‌تری دارد.



شکل ۳ : منحنی ROC در روش AND

۴-۳ . روش M از N

عملکرد این روش به این صورت است که اگر از N نـود موجـود در شبکه، M نود حضور کاربر اولیه را تشخیص دهند ، مرکز تشخیص حضور سیگنال را می‌دهد. در روش M از N می‌توان M را طوری انتخاب کرد که احتمال هشدار کاذب تا مقدار مـورد نظـر کـاهش یابد و احتمال آشکارسازی نیز افزایش یابـد. روش اکثریـت حالـت خاصی از روش M از N است. در این روش تعداد M ثابت نیسـت بلکه هرگـاه حـداقل $[N/2]+1$ نـود از N نـود موجـود در شـبکه حضور سیگنال کاربر اولیه را تشخیص دهند تصمیم مرکز براساس روش اکثریت مبتنی بر حضور کاربر اولیه خواهـد بـود. ایـن روش نسبت به حالتی که تعداد M با تغییر N ثابت باشد کارایی بهتری دارد. روش اکثریت می‌تواند معیار مناسبی برای تشـخیص حضـور کاربر اولیه باشد. زیرا در این روش با افزایش تعداد نودها احتمـال هشـــدار کـــاذب بـــه ســـمت ۱ میـــل مـــی کنـــد. $\lim_{n\to\infty}(1-(1-p_f)^n)=1$ بـــــا AND و در روش OR خواهـد بـود. در شـکل ۴ افزایش تعداد نودها احتمال آشکارسازی به سمت ۰ میل می‌کنـد. ($\lim_{n\to\infty}((p_f)^n)=0$) . بنابراین هیچ کـدام از ایـن روش‌هـا نمی‌توانند تضمین کنند که برای هر تعـداد نـود در شـبکه جـواب قابل قبول و مناسبی بدهند. اما اگر بتوان با تغییر تعـداد نودهـا در شبکه تعداد حداقل نودها برای داشتن جواب مناسب را تعیین کرد عملکـرد بهتـر از حالـت AND و OR خواهـد بـود. در شـکل ۴ منحنی ROC روش اکثریت نشان داده شده است.



شکل۴: منحنیROC برای روش M از N

روابط Q_f و Q_d در این روش عبارتند از:

$$Q_d=\sum_{k=M}^{N}\binom{N}{M}(P_d)^k(1-P_d)^{N-k} \qquad (۷)$$

$$Q_f=\sum_{k=M}^{N}\binom{N}{M}(P_f)^k(1-P_f)^{N-k} \qquad (۸)$$

۵- روش‌های ارسال داده نرم

در حالت ارسال داده به روش نرم، کـاربران ثانویـه نتیجـه طیـف-سنجی خود را به شکل اولیه و بدون هیچ پردازش و تصمیم‌گیـری برای مرکز و یا سایر نودها ارسال می‌کند. با توجه به اینکه در روش نرم اطلاعاتی که به مرکز ادغام ابلاغ می‌شود بیشتر از حالت ارسال داده به روش سخت است؛ بنابراین این روش حتـی در سـاده‌تـرین شکل خود عملکرد بهتری نسبت به روش‌های داده سخت دارد[۵]. برخی انواع روش‌های ارسال داده به شیوه نرم ادامه معرفی خواهند شد.

۵-۱ . روش ترکیب خطی با ضرائب ثابت

این روش ساده‌ترین روش ترکیب به شیوه نرم است. در این روش داده‌های دریافت شده با وزن مشابه جمع می‌شوند و با یک سطح آستانه مشخص مقایسه می‌شوند. روش فوق براساس ترکیب برابر وزن‌ها۲۵ است.[۶]

مجموع توان دریافتی در نودهای مختلف به صورت زیر است:

$$Y_0=\sum_{i=1}^{n}Y_i \qquad (۹)$$

از محاسبه توابع چگـالی احتمـال بـرای شـرط‌هـای H_0 و H_1 مقادیر Q_d و Q_f مطابق روابط زیر خواهند بود:

$$Q_d=p\{Y_0>\lambda|H_1,\gamma_1=l_1,\dots.,\gamma_n=l_n\} \qquad (۱۰)$$

$$=Q_{nm}(\sqrt{2m\sum_{i=1}^{n}l_i}\ ,\sqrt{\lambda})$$

$$Q_f=p\{Y_0>\lambda|H_0\}=\frac{\Gamma(nm,\lambda/2)}{\Gamma(nm)} \qquad (۱۱)$$

که $\Gamma(.,.)$ تابع گامـا غیـر کامـل و $Q_N(.,.)$ تـابع مـارکوم Q اســت. γ_i نیـــز همـــان l_i و نشـــان دهنـــده SNR در نـــود iام است. n نیز برابر تعداد نودها است و m حاصل‌ضرب زمان فرکانس است.

۵-۲ . روش ترکیب خطی با ضرائب غیرثابت

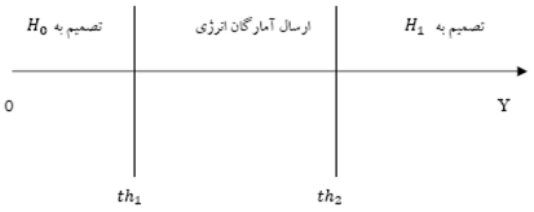
در ایـن روش ارسـال، در مرکـز داده‌هـای دریـافتی بـا وزن‌هـای متفاوت جمع می‌شوند. مرکز ادغام اطلاعاتی در مورد سطح تـوان دریافت شده در گیرنده ثانویه را دریافت می‌کنـد(در ایـن حالـت گیرنده‌ها آشکارسازهای انرژی هستند)سپس تـوان‌هـای دریافـت شده در وزن‌هایی مطابق با فاصله‌ی بین هر گیرنده ثانویه و کاربر

[25] Equal Gain Combining

اولیه ضرب خواهد شد. این ایده اطمینان می‌دهد که سطح توان مشاهده شده در گیرنده ثانویه‌ای که فاصله نزدیکتری با کاربر اولیه دارد در وزن بیشتری ضرب می‌شود. در واقع در این روش به دلیل آنکه گره‌ها وضعیت‌های مختلفی از کانال را تجربه می-کنند، منطقی به نظر می‌رسد که اعتبار داده‌های ارسالی توسط آن‌ها هم از دید مرکز متفاوت باشد. با فرض این که مرکز از اعتبار داده هر گره اطلاع داشته باشد، می‌توان به هر گره وزن متفاوتی اختصاص داد. برای تعیین وزن‌های بهینه تلاش‌هایی صورت گرفته و این وزن‌ها بر اساس معیارهای مختلفی محاسبه شده‌اند. اکثر این معیارها، برای محاسبه وزن مورد نظر به SNR هر گره نیاز دارند. یکی از روش‌ها برای داشتنSNR هر گره ارسال SNR تخمین‌زده شده در هر گره به همراه اطلاعات ارسالی برای مرکز است . البته روشن است که چنین روشی موجب اشغال پهنای باند زیادی خواهد شد.[۵]

۶- روش تلفیق سخت و نرم

در برخی روش‌ها از هر دو شکل ارسال داده سخت و ارسال به شکل نرم استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها که با دو سطح آستانه و به روش مرکزی پیاده‌سازی می‌شود به این صورت است که اگر آمارگان انرژی بین دو سطح آستانه قرار گیرد، نود هیچ تصمیمی روی حضور یا عدم حضور سیگنال نمی‌گیرد و خود آمارگان را برای مرکز ارسال می‌کند. در این روش که در شکل ۵ نشان داده شده است در صورتی که آمارگان از سطح آستانه اول کوچکتر باشد بیت صفر و در صورتی که از سطح آستانه دوم بزرگتر باشد بیت یک به مرکز ارسال می‌شود. به این ترتیب همان-گونه که مشخص است در این روش هر دو شکل ارسال سخت و نرم بسته به مقدار آمارگان وجود دارد.[۸]



شکل ۵ : روش تلفیق سخت و نرم

۷- نتیجه گیری

در این مقاله روش‌های مختلف سنجش طیف معرفی گردید و آشکارسازی به شیوه همکارانه به عنوان یکی از بهترین روش‌ها برای جلوگیری از مشکل کاربر پنهان، در رادیو هوشمند بیان شد. سپس ویژگی‌های هر روش با ارائه منحنی ROC بیان گردید. همچنین توضیح داده شد که روشهای نرم عملکرد را به صورت قابل ملاحظه ای افزایش می دهند اما موجب افزایش پیچیدگی می شوند ، بنابر این برای رسیدن به یک معاوضه قابل قبول بین سادگی و کارایی روشهای ترکیب نرم و سخت معرفی شدند.

مراجع

[1] I.F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M.C. Vuran, and S. Mohanty. “Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey”. ElsevierComputer Networks, 50:2127–2159, September 2006.

[2] Tevfik Yucek and Huseyin Arslan. "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications". Communications Surveys & Tutorials, IEEE In Communications Surveys & Tutorials, IEEE, Vol. 11, No. 1. (04 March 2009), pp. 116-130.

[3] Ghasemi, A. and Sousa, E.S., “Opportunistic Spectrum Access in Fading Channels Through Collaborative Sensing”, Journal of Communications, Academy Publisher, Vol. 2, No. 2, pp. 71-82, 2007.

[4] Danijela Cabric,Artem Tkachenko, Robert W. Brodersen, Berkeley Wireless Research Center," Experimental Study of Spectrum Sensing based on Energy Detection and Network Cooperation" 2006.

[5] Jun Ma, Guodong Zhao, and Ye Li, "Soft Combination and Detection for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.7, November 2008. [1] Chen Guo, Tao Peng, Shaoyi Xu, Haiming Wang, and Wenbo Wang, "Cooperative Spectrum Sensing with Cluster-Based Architecture in Cognitive Radio Networks", IEEE 69th Vehicular Technology Conference, 2009.

[6] Shen, B., Kwak, K.S., “Soft Combination Schemes for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks”, ETRI Journal, 2009.

[7] Khaled Ben Letaief , and Wei Zhang “Cooperative Communications for Cognitive Radio Networks”. Vol. 97, No. 5, May 2009 | Proceedings of the IEEE 879

[8] Jiang Zhu, Zhengguang Xu, Furong Wang, Benxiong Huang, Bo Zhang, Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology,Wu Han, P.R.China ,"Double Threshold Energy Detection of Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio" 2009 First International Conference on Information Science and Engineering.

[9] Chen Guo, Wenbo Wang, Tao Peng,Wireless Signal Processing and Network Lab Key laboratory of Universal Wireless Communication, Ministry of Education,Beijing University of Posts and Telecommunications,"Agility Improvements by Censor-Based Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks" Third International Conference on Communications and Networking in China, 2008.