

نشریه علمی-تخصصی

پژوهش‌های نوین علوم مهندسی

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی، سال اول، شماره ۲، اسفند ۱۳۹۵

**بررسی و تحلیل روش‌های استخراج ویژگی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه
و ماشین بردار پشتیبان برای کلاس بندی سیگنال‌های الکترومایوگرام عضلات
بازو**

سید علی زنده باد، سیامک حق پور، حمیدرضا کبروی، سید امیر زنده باد

**تحلیل اثر شار نفوذی بر دمای دیواره محفظه احتراق موتور زم استیک در خنک
کاری احیائی**

فاطمه غلامی، کورس نکوفر

**حسگری همکارانه طیف با استفاده از آنتن‌های چند گانه در سیستم‌های رادیو
شناختگر**

سید علی اکبر هاشمیان، حمید فرخی، محمد صادقان کردآبادی، رضا قاضی زاده

**بررسی و مقایسه تکنیک‌های مبتنی بر منطق فازی جهت بهینه‌سازی مصرف
انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم**

ابراهیم یارعلی، مهدی صادق زاده

برنامه ریزی توسعه فیدر در سیستم‌های توزیع تحت عدم قطعیت بار

مهر پولادخای، حمید رضا اکبری رکن آبادی، مازیار میرحسینی مقدم

پژوهش‌های نوین مهندسی

ماهنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،
سال اول، اسفند ۱۳۹۵، شماره ۲

صاحب امتیاز و مدیر مسئول:

امیرحسین یوسفی

سر دبیر: میلاد فتاحی

مدیر داخلی: منیژه ملائی

۰۲۱ ۳۳۲۰۲۴۸۷



۰۲۶ ۳۲۷۲۴۷۸۷

۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱۲۴

۰۲۶ ۳۲۷۴۷۱۵۸

تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفت تیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف

پښه شى هاى نډېن
ملمه مڼى

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	بررسی و تحلیل روش های استخراج ویژگی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ماشین بردار پشتیبان برای کلاس بندی سیگنال های الکترو مایوگرام عضلات بازو سید علی زنده باد، سیامک حقی پور، حمیدرضا کبروی، سید امیر زنده باد
۱۱	تحلیل اثر شار نفوذی بر دمای دیواره محفظه احتراق موتور زم استیک در خنک کاری احیائی فاطمه غلامی، کورس نکوفر
۲۷	حسگری همکارانه طیف با استفاده از آنتن های چند گانه درسیستم های رادیو شناختگر سید علی اکبر هاشمیان، حمید فرخی، محمد صادقیان کردآبادی، رضا قاضیزاده
۴۱	بررسی و مقایسه تکنیک های مبتنی بر منطق فازی جهت بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم ابراهیم یارعلی، مهدی صادق زاده
۵۵	برنامه ریزی توسعه فیدر در سیستم های توزیع تحت عدم قطعیت بار مهرو پولادخای، حمید رضا اکبری رکن آبادی، مازیار میرحسینی مقدم

بررسی و تحلیل روش های استخراج ویژگی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ماشین بردار پشتیبان برای کلاس بندی سیگنال های الکترو مایوگرام عضلات بازو

سید علی زنده باد^۱، سیامک حق پور^{۲*}، حمیدرضا کبروی^۳، سید امیر زنده باد^۴

^۱ کارشناس ارشد مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک / گروه مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، zendehbad@live.com

^۲ *دکتری مهندسی پزشکی و استادیار دانشگاه / گروه مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، haghypour@iaut.ac.ir

^۳ دکتری مهندسی پزشکی و عضو هیئت علمی دانشگاه / گروه مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد،

hamidrezakobravi@gmail.com

^۴ دانشجوی دکتری مخابرات / گروه مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، zendehbad@hotmail.com

چکیده

سالهاست به منظور توانبخشی و ساخت اندام مصنوعی سعی محققین بر این بوده که زمان پردازش کاهش داده شود تا برای استفاده های زمان حقیقی^۱ مناسب باشد، هرچند در این زمینه تا حدودی موفق بوده اند ولی در اکثر تحقیقات قبلی مسئله آشکارسازی نوع حرکت پیش از مشاهده آن مورد توجه نبوده است. نشان داده شده به کمک روش های بهینه سازی چندهدفه^۲، میتوان از تقابل بین اهداف مختلف منجر به جوابی شد که در حقیقت مصالحه ای بین اهداف مختلف است همچنین از مزایای این روش نسبت به روشهای تک هدفه^۳ میتوان به شناسایی تعداد بیشتر راه حل ها، قابلیت اضافه کردن قوانین مختلف در آینده و واقعی تر بودن مدلهای ارائه شده در این مسائل اشاره نمود. هدف کلی این پژوهش، ارائه راهکاری مناسب جهت تشخیص بلادرنگ نوع حرکت مورد اراده فرد در عضلات بازو مبتنی بر پردازش سیگنال های الکترو مایوگرام سطحی^۴ برای کنترل یک ساعد سایبرنتیکی با استفاده از ویژگیهای مناسب زمان-فرکانسی است که توسط الگوریتم ژنتیک چندهدفه NSGA-II^۵ گزینش میشود، همچنین استفاده از ماشین بردار پشتیبان^۶ به عنوان طبقه بندی کننده^۶ به منظور آشکارسازی زمان حقیقی نوع حرکت به کار گرفته شده است. نتایج حاصل از پردازش ۱۰۰ نمونه داده ثبت شده از عضلات بازو ۵ سوژه سالم نشان میدهد که میتوان با استفاده از روش پیشنهادی، با طول پنجره بهینه ۲۵۶ ms و با صحت بالای ۹۸٫۴۳٪، فرآیند شناسایی حرکت ساعد دست را در سه حالت مختلف تشخیص و مورد استفاده قرار داد. بنابراین میتوان ادعا کرد که استفاده از این روش، منجر به دستیابی به خطای بهینه سازی کمتر و همچنین سرعت همگرایی کمتری نسبت به روشهای قبلی می شود.

واژه های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی چندهدفه، ماشین بردار پشتیبان، الگوریتم ژنتیک

1 online

2 multi-objective

3 Single-objective

4 Surface Electromyography(SEMG)

5 Support vector Machine(SVM)

6 Classification

۱- مقدمه

همانطور که میدانید عوامل زیادی همچون بیماری‌ها، تصادفات رانندگی، حوادث کار و جنگ‌ها در قطع عضو اندام بالایی بخصوص ساعد دست دخیل بوده و به طور معمول کیفیت زندگی بیمار را به شدت کاهش میدهد. در سالهای گذشته به منظور درمان و توانبخشی این عارضه فعالیت‌های بسیار زیادی انجام شده که یکی از آنها استفاده از اعضای مصنوعی^۱ است. اندام سیبرنتیکی به سیستمی گفته می‌شود که به جای اندام قطع شده فرد مددجو قرار گرفته و با استفاده از پردازش سیستم عصبی و یا سیگنال‌های زیستی دیگر، حرکت فرد را شناسایی و عملکردی مشابه اندام طبیعی از دست رفته انجام می‌دهد.

نخستین قدم در کنترل اعضای سیبرنتیکی شناسایی حرکت مورد نظر فرد مددجو است، از بین روش‌های مختلف ارائه شده، پردازش سیگنال EMG یکی از پرکاربردترین ابزارها در این حوزه محسوب میشود [۱].

از لحاظ فیزیولوژیکی نشان داده شده است که قبل از ایجاد گشتاور حول مفصل و به تبع آن انجام حرکت، فعالیت سیگنال‌های الکترومایوگرام عضلات درگیر، بصورت برانگیخته^۲ آشکار میشوند. لذا می‌توان با استفاده از تجزیه و تحلیل سیگنال SEMG در یک پنجره زمانی مناسب، نوع حرکت مورد اراده^۳ را تشخیص داد. بنابراین میتوان مفهوم آشکارسازی نوع حرکت پیش از مشاهده حرکت را به نحوی معادل با مفهوم تشخیص اراده حرکت قرار داد. نشان داده شده است که حداکثر زمان مجاز برای پردازش، آشکارسازی و کنترل به منظور تشخیص زمان حقیقی با استفاده از eEMG، ۳۰۰ ms است [۲].

تحقیقات بسیار زیادی در زمینه پردازش سیگنال EMG ارائه شده است. آقای گراوپ و همکارانش نخستین کسانی بودند که در سال ۱۹۷۵ به تفکیک سیگنال EMG با استفاده از مدل ARMA پرداختند [۳]. طبقه بندی سیگنال EMG با استفاده از ویژگی‌های زمان-فرکانسی به کمک شبکه عصبی هاپفیلد^۴ [۴]، فیلتر کردن سیگنال EMG از آر تی فکت‌های حرکتی و بررسی انحراف از خط پایه [۵]، استفاده از ویژگی قدر مطلق انتگرال سیگنال جهت آنالیز و دسته بندی الگوهای سیگنال EMG [۶]، توسعه روش کنترل پروتز انگشتان دست با تمرکز بر روی ویژگی قدر مطلق انتگرال سیگنال EMG سطحی [۷]، استفاده از بردار ویژگی‌ها با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اساسی^۵ و تابع فاصله ماهالانوبیس^۶ برای طبقه بندی [۸]، بکارگیری روش‌های ضرائب مشترک و بیشترین احتمال در شناسایی الگوهای EMG [۹]، استفاده از سیستم فازی برای تشخیص الگوهای حرکتی سیگنال EMG و الگوریتم پس انتشار خطا^۷ [۱۰]، بکارگیری ویژگی زمان-فرکانس تبدیل فوریه زمان کوتاه [۱۱]، استفاده از دسته بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و بکارگیری الکترودهای فعال در کاهش منابع سیگنال‌های ناخواسته [۱۲]، استفاده از دسته بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و بکارگیری الکترودهای فعال در کاهش منابع سیگنال ناخواسته [۱۲] و استفاده از الگوریتم ژنتیک تک هدفه جهت پیشگویی زمان حقیقی نوع حرکت مچ دست [۱۶]، از جمله روش‌هایی بودند که تا کنون توسط محققین ارائه شده است. هدف اصلی یک روش بهینه‌سازی تک‌هدفه یافتن بهترین راه حل از طریق مینیمم و یا ماکزیمم نمودن یک تابع هدف واحد است. اما در یک روش بهینه‌سازی چندهدفه، با اهداف مختلف که ممکن است با یکدیگر در تضاد باشند، جواب واحد بهینه‌ای وجود ندارد. در این مسائل تقابل بین اهداف مختلف منجر به جوابی خواهد شد که در حقیقت مصالحه‌ای بین اهداف مختلف است. به این جواب در اصطلاح پارتو بهینه^۸ گویند. استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه سه مزیت مهم نسبت به حالت تک‌هدفه دارد:

۱. با استفاده از روش چندهدفه، تعداد بیشتری از راه حل‌ها شناسایی می‌شوند.
۲. با استفاده از روش چند هدفه به راحتی می‌توان قوانین مختلفی را به مساله اضافه نمود.
۳. مدل‌های ارائه شده در یک مساله چند هدفه نسبت به حالت تک‌هدفه به واقعیت نزدیک‌ترند.

¹ Prosthetic

² Evoked electromyography (eEMG)

³ Intention

⁴ Hopfield Neural networks

⁵ Principal component analysis (PCA)

⁶ Mahalanobis distance

⁷ Back Propagation

⁸ Pareto-optimal

روش بهینه‌سازی NSGA یک روش چندهدفه است که بر مبنای الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. این روش، نسبت به روش الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه کارایی بیشتری دارد اما دارای مشکلاتی از قبیل حجم محاسبات بالا، نبود نخبه‌گرایی و نبود الگوریتمی دقیق برای تعیین پارامتر σ_{Share} است. روش NSGA-II نسخه اصلاح شده این روش است که در آن از نخبه‌گرایی استفاده شده و بر خلاف روش NSGA در آن نیازی به تعیین پارامتر σ_{Share} به روش سعی و خطا نیست [۱۳].

در واقع از NSGA-II به عنوان راهکاری سیستماتیک جهت انتخاب ویژگی‌های بهینه استفاده شده است. این الگوریتم به دلیل وجود مزایایی از جمله وجود یک حافظه معتبر، بهره برداری ساده از جوابهای قبلی، موجود بودن روشهای مختلفی برای افزایش سرعت و پیشرفت الگوریتم، امکان استفاده به صورت توزیع شده و موازی، ایده ال بودن برای محیط‌های نویزی، مجزا بودن و ماجولار بودن آن و از همه مهمتر چند هدفه بودن آن و نخبه‌گرایی^۳ استفاده شده است [۱۳].

در بخش ۲، توضیحات الگوریتم NSGA-II بیان خواهد شد. در بخش ۳، دسته بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و در بخش ۴ نتایج پیاده سازی الگوریتم NSGA-II نشان داده خواهد شد.

۲- الگوریتم NSGA-II

الگوریتم کلی NSGA II را می‌توان به بخش‌های زیر تقسیم نمود:

۲-۱- تشکیل جمعیت اولیه

جمعیت اولیه بر اساس دامنه تعریف متغیرها و قیود مساله به صورت تصادفی تشکیل می‌شود. تعداد اعضای این جمعیت بسته به تعداد متغیرهای مساله توسط کاربر تعیین می‌شود.

۲-۲- چینش غیرمغلوب

جمعیت اولیه بر اساس غیر مغلوب بودن^۴ مرتب می‌شود. الگوریتم چینش سریع غیرمغلوب به صورت گام‌های زیر است:

برای هر عضو p در جمعیت P گام‌های زیر را انجام ده:

لیست $S_p = \phi$ را به صورت تهی ایجاد کن. این لیست مخصوص اعضای خواهد بود که توسط عضو p مغلوب می‌شوند.

مقدار اولیه $n_p = 0$ قرار ده. این مقدار نشان دهنده تعداد اعضای خواهد بود که عضو p را مغلوب^۵ می‌کنند.

برای هر عضو q در جمعیت P :

- اگر عضو p عضو q را مغلوب کند:

عضو q را به مجموعه S_p اضافه کن، یعنی $S_p = S_p \cup \{q\}$

- اما اگر عضو q عضو p را مغلوب کند:

شمارنده مغلوب شدن را برای عضو p یک واحد افزایش ده، یعنی $n_p = n_p + 1$.

اگر $n_p = 0$ باشد، یعنی هیچ عضوی عضو p را مغلوب نمی‌کند. بنابراین p به مجموعه جبهه اول تعلق می‌گیرد. رتبه عضو p را برابر ۱ قرار

ده یعنی $p_{rank} = 1$. مجموعه جبهه اول را با اضافه کردن p به آن به روز کن یعنی $F_1 = F_1 \cup \{p\}$.

1 Modular

2 multi- objective

3 Elitist

4 Non-domination

۲۲- هنگامی که تمامی تابع‌های هدف یک عضو از یک عضو دیگر بدتر نباشند و حداقل یکی از آن‌ها بهتر از تابع هدف عضو دیگر باشد، اصطلاحاً گفته می‌شود آن عضو، عضو دیگر را مغلوب می‌کند.

مراحل قبلی را برای تمامی اعضای موجود در جمعیت P انجام بده.

مقدار اولیه شمارنده جبهه را برابر ۱ قرار می‌دهیم.

هنگامی که جبهه شماره i غیر تهی باشد یعنی $F_i \neq \phi$ باشد، مراحل زیر را انجام بده:

مجموعه $Q = \phi$ قرار بده. این مجموعه برای نگهداری اعضای جبهه شماره $(i+1)$ در نظر گرفته می‌شود.

برای هر عضو p از جبهه F_i مراحل زیر را انجام بده:

برای هر عضو q در $S_p \setminus S_q$ (مجموعه‌ای از اعضا است که توسط p مغلوب می‌شوند)، مراحل زیر را انجام بده:

شمارنده مغلوب شدن را برای عضو q یک واحد کاهش بده، یعنی $n_q = n_q - 1$.

اگر مقدار شمارنده $n_q = 0$ باشد، یعنی هیچ یک از اعضا، عضو q را مغلوب نمی‌کنند. بنابراین $q_{rank} = i + 1$ قرار بده و عضو q را به

مجموعه Q اضافه کن. یعنی $Q = Q \cup q$.

شمارنده جبهه را یک واحد افزایش بده.

حال مجموعه Q جبهه بعدی است و بنابراین $F_i = Q$ قرار بده.

الگوریتم NSGA II بهتر از الگوریتم NSGA است زیرا اطلاعاتی را درباره مجموعه‌ای که یک عضو مغلوب می‌کند (S_p) و تعداد اعضایی

که هر عضو را مغلوب می‌کنند (np) را به کار می‌برد.

۳-۲- فاصله تراکمی

هنگامی که چینش غیرمغلوب کامل شود، باید فاصله تراکمی به هر یک از اعضا نسبت داده شود. اعضای موجود در جمعیت بر اساس این

فاصله تراکمی و رتبه‌بندی انتخاب می‌شوند. فاصله تراکمی به صورت مجزا به اعضای هر جبهه تعلق می‌گیرد و مقایسه فاصله تراکمی عضوی از

یک جبهه با عضوی از جبهه دیگر بی‌معنی است. فاصله تراکمی طی مراحل زیر محاسبه می‌گردد:

- برای هر جبهه F_i ، مقدار n تعداد اعضا را مشخص می‌کند.
- مقدار اولیه فاصله تراکمی را برای تمامی اعضا برابر صفر قرار بده یعنی $F_i(d_j)$. که j نشان دهنده شماره عضو در جبهه F_i می‌باشد.
- برای هر تابع هدف m :

○ اعضای جبهه F_i را بر اساس تابع هدف m مرتب کن یعنی $sort(F_i, m)$.

○ فاصله‌های نامحدود را به مقادیر مرزی برای هر عضو از F_i قرار بده یعنی $I(d_1) = \infty$ و $I(d_n) = \infty$.

○ برای مقادیر $k = 2$ تا $(n-1)$:

$$I(d_k) = I(d_{k-1}) + \frac{I(d_{k+1}) - I(d_k)}{f_m^{\max} - f_m^{\min}} \quad (1)$$

در رابطه فوق $I(k).m$ مقدار تابع هدف m را از عضو شماره k در I نشان می‌دهد.

۴-۲- نحوه انتخاب اعضا (Selection)

بعد از آن که اعضای جمعیت بر اساس غیرمغلوب بودن مرتب شده و فاصله تراکمی به هر یک از آن‌ها تعلق گرفت، انتخاب اعضا بر اساس

اپراتور مقایسه تراکمی ($\prec_n$) صورت می‌گیرد. مقایسه به صورت زیر انجام می‌شود:

بر اساس p_{rank} (اعضای موجود در جبهه F_i دارای $p_{rank} = i$ هستند).

بر اساس فاصله تراکمی $F_i(d_j)$

یعنی گوییم $p \prec_n q$:

• اگر $p_{rank} < q_{rank}$

• یا اگر p و q متعلق به جبهه یکسان F_i بوده و $F_i(d_p) > F_i(d_q)$ یعنی فاصله تراکمی باید بیشتر باشد.

اعضای هر جمعیت بر اساس اپراتور مقایسه تراکمی ($\prec_n$) به صورت مسابقه‌ای^۱ انتخاب می‌شوند.

۲-۵- عملگر (Crossover)

در این روش از شبیه‌سازی Crossover باینری استفاده شده است که Crossover باینری موجود در طبیعت را شبیه‌سازی می‌کند. این Crossover به صورت رابطه زیر صورت می‌گیرد.

$$c_1, k = \frac{1}{2} [(1 - \beta_k) p_1, k + (1 + \beta_k) p_2, k] \quad (2)$$

$$c_2, k = \frac{1}{2} [(1 + \beta_k) p_1, k + (1 - \beta_k) p_2, k]$$

در رابطه فوق $c_{i,k}$ نشان‌دهنده فرزند شماره i با قسمت شماره k ، $p_{i,k}$ والدین منتخب بوده و $\beta_k (\geq 0)$ نمونه‌ای از عدد تصادفی تولید شده با تابع توزیع احتمال زیر است.

$$p(\beta) = \frac{1}{2} (\eta_c + 1) \beta^{\eta_c}, \text{ if } \rightarrow 0 \leq \beta \leq 1$$

$$p(\beta) = \frac{1}{2} (\eta_c + 1) \frac{1}{\beta^{\eta_c+2}}, \text{ if } \rightarrow \beta > 1 \quad (3)$$

در رابطه فوق η_c شاخص توزیع برای Crossover است.

۲-۶- عملگر (Mutation)

در این روش از عملگر Mutation چندجمله‌ای به صورت زیر استفاده شده است.

$$c_k = p_k + (p_k^u - p_k^l) \delta_k \quad (4)$$

در رابطه فوق c_k و p_k به ترتیب نشان‌دهنده فرزند و والد هستند. p_k^l و p_k^u نیز به ترتیب نشان‌دهنده حد بالا و پایین برای اجزای واحد هستند. δ_k نیز انحراف اندکی است که از توزیع چندجمله‌ای زیر حاصل می‌شود.

$$\delta_k = (2r_k)^{\frac{1}{\eta_m+1}} - 1, \text{ if } \rightarrow r_k < 0.5$$

$$\delta_k = 1 - [2(1 - r_k)]^{\frac{1}{\eta_m+1}}, \text{ if } \rightarrow r_k > 0.5 \quad (5)$$

که در آن r_k یک عدد تصادفی است که دارای توزیع یکنواخت در بازه (0,1) می‌باشد و η_m شاخص توزیع Mutation است.

^۱ Tournament

۳- دسته بندی کننده ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان^۱ یکی از روش‌های یادگیری با نظارت^۲ است که از آن برای طبقه‌بندی^۳ و رگرسیون^۴ استفاده می‌کنند. این روش از جمله روشهای نسبتاً جدیدی است که در سالهای اخیر کارایی خوبی نسبت به روشهای قدیمی تر برای طبقه بندی از جمله شبکه های عصبی پرسپترون^۵ نشان داده است.

مزیت این روش نسبت به دیگر روشهای مرسوم، محاسبات کمتر، مناسب بودن جهت کاربرد زمان حقیقی و آموزش نسبتاً ساده است همچنین مانند شبکه های عصبی در مینیمم های محلی گرفتار نمیشود.

ماشینهای بردار پشتیبان بدین گونه عمل میکنند که بردارهای X ورودی را با استفاده از نگاشت های غیرخطی به فضای ویژگی با ابعاد زیاد نگاشت برده و سپس یک ابر صفحه جدا کننده تولید میکنند [۱۴].

از آنجا که ماشین بردار اساساً یک جداکننده دوکلاسه است و در این تحقیق تشخیص الگو بر مبنای سه کلاس صورت میگیرد، بنابراین از ترکیب ماشین های بردار پشتیبان دو کلاسی استفاده شده است. به طور معمول دو دید برای این هدف وجود دارد. یکی از آنها استراتژی یک در مقابل همه است که برای دسته بندی هر جفت کلاس و کلاس های باقی‌مانده است. دیگر استراتژی یک در مقابل یک است که برای دسته بندی هر جفت است. در شرایطی که دسته بندی اول ممکن است به دسته بندی مبهم منجر می شود بنابراین برای مسائل چند کلاسی بهترین روش کاهش مسئله ی چند کلاسی به چندین مسئله دوکلاسه خواهد بود [۱۵]. در این صورت هر یک از مسائل را با یک جداکننده دوکلاسه حل کرده سپس خروجی جداکننده های دوکلاسه را با هم ترکیب کرده و به این ترتیب مسئله چند کلاس حل می شود.

در این تحقیق نیز از سه ماشین بردار استفاده شده است. یعنی برای تفکیک هر کلاس حرکت یک ماشین بردار اختصاص داده شده که تشخیص اراده حرکت یا عدم اراده حرکت را بخوبی بتواند متمایز کند و صحت عملکرد آن در قسمت محاسبه مقدار برازندگی الگوریتم ژنتیک با توجه با نشانه گذاری های انجام شده مورد بررسی قرار میگیرد. در واقع الگوریتم ژنتیک سه تابع برازندگی داشته و وظیفه دارد میزان خطای ناشی از طبقه بندی SVM ها را تا حد امکان مینیمم کند.

۴- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله روش استخراج ویژگی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چند هدفه جهت بهینه سازی و طبقه بندی سیگنال های EMG برای کاربردهای زمان حقیقی جهت کنترل اندام مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. مشکلات الگوریتم ژنتیک تک هدفه مطرح و روش های پردازشی قبلی مورد بررسی قرار گرفت.

در بخش نخست اشاره کردیم که حداکثر زمان مجاز برای پردازش، آشکارسازی و کنترل به منظور تشخیص زمان حقیقی با استفاده از SEMG ۳۰۰ms است. اما با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده پیشنهاد شده در کاربردهای مربوط به کنترل پروتزهای جایگزین عضو، طول زمانی پنجره داده میتواند برابر با ۲۵۶ ms لحاظ شود. سپس طبقه بندی هر ۳ کلاس با SVM اعمال شده و در نهایت NSGA-II توانست با اندازه جمعیت ۲۰۷ و تولید نسل ۲۰۸، برای سیگنال SEMG ثبت شده از عضله جلو بازو و پشت بازو بدون اعمال بار اضافی، ۲۰ ویژگی مطلوب را استخراج کند که میتوان نتایج آن را در جدول ۴-۱ مشاهده نمود. همچنین میتوان درصد خطای طبقه بندی هر کلاس حرکتی را در جدول ۴-۲، درصد دقت، صحت، حساسیت و اختصاصی بودن طبقه بندی را در جدول ۴-۳ و خطای بهینه شده را بصورت نمودار که محور افقی کلاس های مختلف SVM و محور عمودی درصد خطا را نشان میدهد را در شکل ۴-۱ مشاهده نمود.

- 1 Support Vector Machine (SVM)
- 2 Supervised learning
- 3 Classification
- 4 Regression
- 5 Perceptron neural networks
- 6 Fitness function
- 7 Population size
- 8 Generations

جدول ۴-۱: ویژگیهای استخراجی با پنجره زمانی ۲۵۶ میلی ثانیه به کمک NSGA-II با $Population\ size = 20$ و $Generations = 30$ برای

عضله جلو بازو و پشت بازو بدون اعمال بار

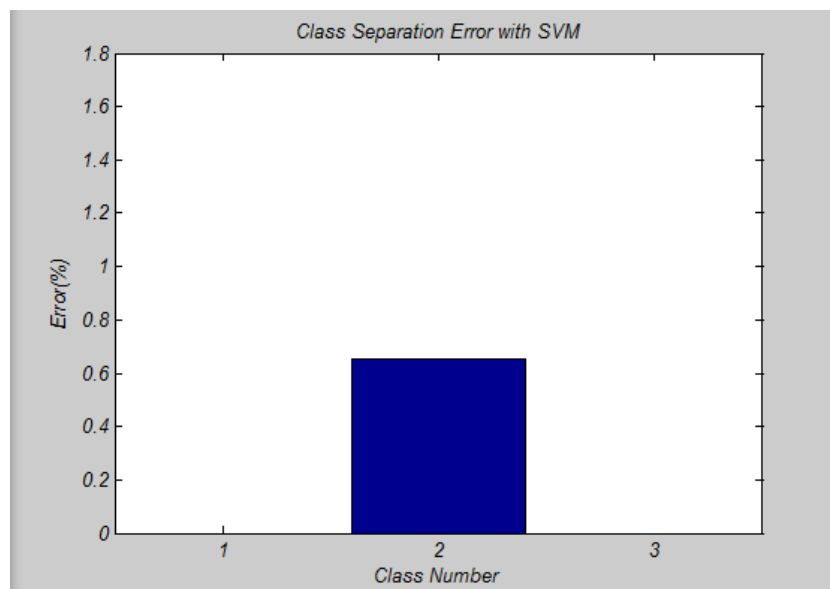
ردیف	ویژگی
۱	SM3
۲	SSC
۳	AR
۴	WL
۵	IEMG
۶	SSI
۷	VAR
۸	RMS
۹	MAV
۱۰	AAC
۱۱	ZC
۱۲	MYOP
۱۳	WAMP
۱۴	PKF
۱۵	MNP
۱۶	TTP
۱۷	SM1
۱۸	MNF
۱۹	PSR
۲۰	VCF

جدول ۴-۲: مشاهده درصد خطای تشخیص داده شده برای تفکیک حرکت توسط SVM

نوع حرکت	درصد خطا
کلاس ۱	۰
کلاس ۲	۰,۶۸۸۸
کلاس ۳	۰

جدول ۴-۳: نمایش اعتبارسنجی طبقه بندی کننده به صورت درصد

	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
Accuracy	۱۰۰	۱۰۰	۹۹,۱۳۷۹
Precision	۱۰۰	۱۰۰	۹۹,۵۰۰۰
Sensitivity	۱۰۰	۱۰۰	۹۹,۲۲۲۳
Specificity	۱۰۰	۱۰۰	۹۹,۸۸۸۹



شکل ۴- ۱: نمایش درصد خطای خروجی برای تفکیک نوع حرکت توسط NSGA-II

تشکر و قدردانی

از زحمات بی دریغ، استاد گرامی جناب آقای دکتر سیامک حقی پور در راستای انجام این تحقیق و همچنین از راهنمایی‌های ارزشمند و راه‌گشای استاد محترم جناب آقای دکتر حمیدرضا کبروی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

مراجع

- [۱] A. Phinyomark, A. Nuidod, P. Phukpattaranont, and C. Limsakul, "Feature extraction and reduction of wavelet transform coefficients for EMG pattern classification," *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 122, pp. 27-32, 2012.
- [۲] A. Phinyomark, P. Phukpattaranont, and C. Limsakul, "Feature reduction and selection for EMG signal classification," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 7420-7431, 2012.
- [۳] D. Graupe and W. K. Cline, "Functional separation of EMG signals via ARMA identification methods for prosthesis control purposes," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, pp. 252-259, 1975.
- [۴] K. Englehart, B. Hudgins, P. A. Parker, and M. Stevenson, "Classification of the myoelectric signal using time-frequency based representations ", *Medical engineering & physics*, vol. 21, pp. 431-438, 1999.
- [۵] C. J. De Luca, L. D. Gilmore, M. Kuznetsov, and S. H. Roy, "Filtering the surface EMG signal: Movement artifact and baseline noise contamination," *Journal of biomechanics*, vol. 43, pp. 1573-1579, 2010.
- [۶] G. N. Saridis and T. P. Gootee, "EMG pattern analysis and classification for a prosthetic arm," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, pp. 403-412, 1982.
- [۷] R. N. Khushaba, S. Kodagoda, M. Takruri, and G. Dissanayake, "Toward improved control of prosthetic fingers using surface electromyogram (EMG) signals," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 10731-10738, 2012.
- [۸] M. Vuskoviv, A. Pozos, and R. Pozos, "Classification of grasp modes based on electromyographic patterns of preshaping motions," in *Systems, Man and Cybernetics, 1995. Intelligent Systems for the 21st Century., IEEE International Conference on*, 1995, pp. 89-95.
- [۹] W.-J. Kang, J.-R. Shiu, C.-K. Cheng, J.-S. Lai, H.-W. Tsao, and T.-S. Kuo, "The application of cepstral coefficients and maximum likelihood method in EMG pattern recognition [movements classification]," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 42, pp. 777-785, 1995.
- [۱۰] Y.-S. Yuag, F. Lam, F. H. Chan, Y.-T. Zhang, and P. Parker, "A new fuzzy approach for pattern recognition with application to EMG classification," in *Neural Networks, 1996., IEEE International Conference on*, 1996, pp. 1109-1114.
- [۱۱] M. Fontana, S. Fabio, S. Marcheschi, and M. Bergamasco, "Haptic hand exoskeleton for precision grasp simulation," *Journal of Mechanisms and Robotics*, vol. 5, p. 041014, 2013.
- [۱۲] R. H. Chowdhury, M. B. Reaz, M. A. B. M. Ali, A. A. Bakar, K. Chellappan, and T. G. Chang, "Surface electromyography signal processing and classification techniques ", *Sensors*, vol. 13, pp. 12431-12466, 2013.
- [۱۳] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, vol. 6, pp. 182-197, 2002.
- [۱۴] A. Subasi, "Classification of EMG signals using PSO optimized SVM for diagnosis of neuromuscular disorders," *Computers in biology and medicine*, vol. 43, pp. 576-586, 2013.
- [۱۵] C. J. Burges, "A tutorial on support vector machines for pattern recognition," *Data mining and knowledge discovery*, vol. 2, pp. 121-167, 1998.
- [۱۶] رحیمی، م.، ۱۳۹۳، پیشگویی زمان حقیقی نوع حرکت مچ دست با استفاده از پردازش سیگنال های الکترومایوگرام سطحی ساعد ، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

Analysis of feature extraction methods based on multiple objective genetic algorithms and support vector machine for classification EMG signals arm muscles

Seyed Ali zendehbad, Siyamak haghypour *, Hamidreza kobravi , Seyed Amir zendehbad

1. zendehbad@live.com

2. haghypour@iaut.ac.ir

3.hamidrezakobravi@gmail.com

4.zendehbad@hotmail.com

Abstract

For years, researchers tried to rehabilitation and construction of artificial organs, which reduces processing time to be appropriate for use in real time, however in these areas have been successful, but in most previous studies to detect the motion before observing was not concerned. It was Shown to help multi-objective optimization methods, can be contrasted between different objectives were to answer that in fact is a compromise between the various objective. The advantage of this method compared to simple objective methods can be used to identify a greater number of solutions, the ability to add different rules in the future and more realistic models of these issues can be mentioned. The overall goal of this research is to provide a method for diagnosis of real-time movement in arm muscles based on EMG signal processing surface to control a cybernetic arm using appropriate time-frequency features multi-objective genetic algorithm NSGA-II selected by the As well as the use of support vector machine classifier to real-time motion detection is applied. The results of processing 100 samples of recorded data from 5 healthy subjects indicated arm muscles that the proposed method can be used, with the optimal window mS256 and 98.43% with high accuracy, process, motion detection and diagnosis of arms used in three different modes. It can be claimed that the use of this method, to achieve optimization of error is less and also the convergence speed than previous methods.

Keywords: surface electromyography, multi-objective optimization, support vector machine, genetic algorithm

تحلیل اثر شار نفوذی بر دمای دیواره محفظه احتراق موتور زم استیک در خنک کاری حیائی

فاطمه غلامی^{۱*}، کورس نکوفر^۲

^{۱*} دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد آیت الله آملی، گروه مکانیک، آمل، atiza_gholami64@yahoo.com

^۲ استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، دانشکده فنی مهندسی، چالوس،

nekoufar@iauc.ac.ir

چکیده

در طراحی موتور سوخت مایع به دلیل دمای بالای احتراق و نرخ بالای انتقال حرارت از (۱ MW/m² تا حدود ۱۶۰ MW/m²) از گازهای داغ به دیوار محفظه، خنک کاری محفظه رانش از اهمیت بالایی برخوردار است. در طراحی خنک کاری محفظه رانش، انتخاب روش مناسب، طراحی مجاری خنک کاری و مباحث مرتبط با محفظه رانش دو جداره و استفاده از پوششهای حرارتی دارای اهمیت بسیار زیادی است. در دیواره محفظه احتراق و نازل موتور پیشران مایع لازم است یک سیستم خنک کاری به منظور جلوگیری از شکست مقاومت بدنه موتور استفاده شود. در خنک کاری به روش بازیابی سیال میرد (معمولا سوخت) از میان کانالهایی که برای آن در بدنه موتور تعبیه شده است عبور کرده و دمای بدنه موتور را کاهش می دهد. مدلسازی و تحلیل جریان سیال کانال خنک کننده در موتور پیشران مایع به دلیل شار حرارتی بالا یکی از مهمترین و چالشی ترین موضوع در زمینه این نوع موتورها است. به همین دلیل در این مقاله کانال خنک کاری بازیابی یک موتور پیشران مایع شبیه سازی عددی می شود. این موتور با پیشران سرمازا کرایوژنیک تغذیه شده و کرایوژنیک به عنوان سیال خنک کننده در نظر گرفته شده است. از بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی عددی به این نتیجه می رسیم که با افزایش یا کاهش مقدار شار در مرز، دما به ترتیب افزایش و یا کاهش می یابد اما نسبت افزایش یا کاهش دما به علت ارتباط دمایی با محیط و عدم تغییر در دیگر شرط مرزها، به مقدار نسبت افزایش یا کاهش شار نمی باشد.

واژگان کلیدی: موتور پیشران مایع، محفظه احتراق، کانال خنک کاری، سوخت های سرمازا (کرایوژنیک)، خنک کاری حیائی (بازیابی).

۱-مقدمه

در موتورهای موشکی، محصولات احتراق دارای دماهای بالا ۳۵۰۰ تا ۴۵۰۰ کلوین، فشار ۱۵ مگاپاسکال و بالاتر و سرعت حرکت ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ متر بر ثانیه می باشند. دماهای مذکور بالاتر از نقطه ذوب فلزات، آلیاژها و بسیاری از مواد نسوز است. اختلاف دماها بین سطوح جداره با وجود ضخامت کم آنها می تواند به مقادیر زیادی برسد. به عنوان مثال، حتی در صورت وجود شار حرارتی ملایم $10^6 \times (16-10)$ وات بر متر مربع با ضخامت جداره یک میلیمتر از جنس فولاد ضدزنگ، اختلاف دماهای $500-6000^\circ\text{C}$ را به دست می آوریم. در این صورت بین گاز و جداره، انتقال حرارت شدید به وجود می آید. حفاظت ناکافی می تواند به سرعت دیواره محفظه احتراق را تا دمای نزدیک به دمای گاز، گرم نماید. اگر در نظر بگیریم که اکثریت قریب به اتفاق مواد جداره، گرایش های خیلی ملایم را تحمل می کنند (حداکثر ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ کلوین) آنگاه پیچیدگی مشکل حفاظت از جداره محفظه احتراق واضح و آشکار می شود [۶].

دیواره موتور موشک بایستی تحمل فشارهای زیاد را داشته باشد. البته، استحکام بیشتر مواد در دماهای بالا و قبل از رسیدن به نقطه ذوب به سرعت کاهش می‌یابد. سرعت بالای محصولات احتراق همراه با دمای بالای آن موجب فرسایش سریع و شدید دیواره به خصوص ناحیه گلوگاه نازل می‌گردد. از طرف دیگر میزان تنش‌هایی که دیواره موتور موشکی می‌تواند تحمل کند کاملاً به ضخامت آن بستگی دارد. لذا به نظرمی‌رسد برای تحمل دما و تنش‌های بسیار بالا بایستی دیواره موتور را از مواردی با تحمل تنش و نقطه ذوب بالا و ضخامت زیاد طراحی کرد. اما از طرفی دیگر، این موضوع باعث افزایش شدید وزن موتور و موشک می‌گردد که صنایع هوافضا یک نقص محسوب می‌شود. از طرف دیگر تاکنون هیچ ماده‌ای یافت نشده که تا دماهای مذکور ذوب نشده و درعین حال تحمل تنش‌های بالایی را داشته باشد. تنها راه حل معقول استفاده از موادی با تحمل تنش بسیار بالا و خنک‌کاری دیواره‌های موتور موشکی تا دمایی بسیار پایین‌تر از نقطه ذوب ماده سازنده دیواره می‌باشد.

۲- موتور پیشران مایع

موتور یا سیستم پیشران، مهمترین بخش موشک بوده و وظیفه آن تأمین نیروی لازم جهت پیشران موشک می‌باشد. سیستم پیشران به منزله قلب یک موشک بوده و بیشترین بودجه، طولانی‌ترین زمان طراحی، عمده‌ترین و مشکل‌ترین آزمایش‌های مقیاس واقعی را به خود اختصاص می‌دهد.

۲-۱- ساختمان موتور موشکی سوخت مایع

به طور کلی یک موتور موشکی سوخت مایع شامل اجزای زیر می‌باشد

- مخازن سوخت و اکسید کننده
- تزریق‌گر
- توربوپمپ
- محفظه احتراق
- نازل

طراحی سیستم خنک‌کاری درمجموع به خصوص برای محفظه‌های پیشران بزرگ خاص است و برای نازل و قسمت محفظه احتراق متفاوت است. بر طبق تغییرات پارامترهای حرارتی جریان گاز، سطح مقطع عبوری جریان سیال خنک‌کننده می‌بایست متغیر باشد لذا جهت دسترسی به یک سیستم خنک‌کاری مناسب درک خوبی از انتقال گرما در محفظه پیشران موتور موشک لازم است. محفظه پیشران یکی از مهمترین بخش‌های یک موتور موشک است، بخشی است که مایع در آن پاشیده، پودر، بخار، مخلوط و نهایتاً سوخته می‌شود و حاصل این واکنش‌گازی است که درون محفظه و نازل شتاب می‌گیرد. محفظه پیشران شامل اتاق احتراق، گلوگاه و نازل و اگر (فوق صوت) است و معمولاً موشک‌های با تراست بالاتر از ۱۰۰۰ Lbf دارای محفظه پیشران می‌باشند، (باقی موشک‌ها دارای استوانه پیشران یا اتاق احتراق موشک می‌باشند) [۴]. شدت دریافت حرارت از گازهای داغ وارده بر دیواره در طول محور محفظه پیشران متغیر است، بیشترین مقدار حرارت به دیواره در ناحیه گلوگاه آنکه مقطع بحرانی نامیده می‌شود، وارد می‌گردد (آهنگ انتقال گرما در گلوگاه به بزرگی حدوداً 10 KW/Cm^2 می‌رسد) و کمترین مقدار آن در مقطع خروجی اعمال می‌شود. در طول محور محفظه پیشران همچنین فشار گاز به شدت تغییر می‌کند که بیشترین مقدار آن در محفظه احتراق و کمترین آن در مقطع خروجی نازل است.

۳- ساختار انتقال حرارت و خنک‌کاری در موتورهای موشکی سوخت مایع

در این بخش به بررسی ساختارهای مورد استفاده در محفظه موتورهای سوخت مایع می‌پردازیم. از این پس، وقتی کلمه محفظه به تنهایی را مورد استفاده قرار می‌دهیم، کل محفظه شامل بخش استوانه‌ای، بخش همگرای نازل و بخش واگرای آن مدنظر است. اما اگر عبارت محفظه احتراق استفاده شود، منظور فقط بخش استوانه‌ای محفظه است، که جبهه‌ی احتراق در آن تشکیل می‌گردد.

۳-۱- ویژگیهای ساختاری محفظه و نازل

اغلب محفظه‌ها در موتورهای سوخت مایع، دارای خنک‌کاری از نوع خنک‌کاری خارجی هستند. در این نوع خنک‌کاری، جریان سیال خنک‌کن با سرعت نسبتاً بالایی، از فضای بین پوسته‌های داخلی و خارجی که محل عبور می‌کند و پوسته‌ی داخلی را خنک می‌نماید. فضای بین پوسته‌های داخلی و خارجی از محل عبور سیال خنک‌کن است، مسیر خنک‌کاری محفظه نامیده می‌شود. خنک‌کاری خارجی را از دیدگاه دیگری می‌توان، خنک‌کاری بازبایی نامید. چراکه گرمای هدررفته از دیواره‌های محفظه با گرم شدن سیال خنک‌کن به محفظه بازمی‌گردد. یکی از پیچیده‌ترین مراحل پدید آمدن یک محفظه، طراحی و تولید ساختاری مناسب برای مسیر خنک‌کاری است. ساختار مسیر خنک‌کاری، از نظر شکل و اتصالات تحمل‌کننده‌ی بار، دارای انواع بسیار مختلف و متفاوتی است. بایستی توجه داشت که ساختار مسیر خنک‌کاری تعیین‌کننده‌ی شکل کلی ساختار محفظه، استحکام آن، میزان قابلیت اطمینان سیستم خنک‌کاری و ویژگیهای جرمی محفظه است. پس اصلی‌ترین بخش ساختار محفظه، ساختار و نوع مسیر خنک‌کاری آن است.

۳-۲- انواع حالت‌های انتقال حرارت در موتورهای موشک سوخت مایع

به طور کلی دو حالت انتقال حرارت گذرا و پایدار در موتورهای موشکی سوخت مایع وجود دارد.

۳-۲-۱- انتقال حرارت گذرا در چهار حالت وجود خواهد داشت:

- زمان شروع به کار موتور تا رسیدن به حالت پایدار
- زمان خاموش شدن موتور
- بروز نقص در سیستم خنک‌کاری موتور موشکی
- موتورهای موشکی که خنک‌کاری نمی‌شوند

حالت اول زمان بسیار کوتاهی را نسبت زمان کارکرد موتور را شامل می‌شود. حالت دوم نیز پس از خاموشی موتور رخ داده و تا زمان خنک شدن آن (رسیدن به تعادل دمایی) ادامه می‌یابد. حالت سوم زمانی رخ می‌دهد که سیستم خنک‌کاری عملکرد درستی نداشته و دمای قسمتی از موتور به سرعت شروع به افزایش می‌کند. نهایتاً حالت چهارم مربوط به موتورهایی است که خنک‌کاری نمی‌شوند.

۳-۲-۲- انتقال حرارت پایدار

هنگام کارکرد موتورهای موشکی خنک شونده و در صورت عملکرد بدون نقص سیستم خنک‌کاری، انتقال حرارت از نوع پایدار بوده و به ترتیب اهمیت به سه صورت زیر وجود خواهد داشت [۵]:

الف- انتقال حرارت جابجایی: انتقال حرارت جابجایی مهمترین فرآیند انتقال حرارت در موتورهای موشکی سوخت مایع بوده و تنها فرآیند انتقال حرارت از دیواره به سیال خنک‌کننده به حساب می‌آید.

ب- انتقال حرارت تشعشی: به دلیل دمای بالای محصولات احتراق در موتورهای موشکی سوخت مایع، مقداری از انرژی توسط تشعشع به دیواره‌ها منتقل می‌شود.

ج- انتقال حرارت هدایتی: گرمایی که از طریق انتقال حرارت جابجایی و تشعشی از محصولات احتراق به دیواره موتور می‌رسد از طریق هدایت به سیال خنک‌کننده یا اتمسفر منتقل می‌گردد.

اساساً در دو نوع خنک‌کاری موجود، خنک‌کاری اساسی به روش پایا می‌باشد، یعنی اینکه نرخ انتقال حرارت و درجه حرارت محفظه پیشران به یک دمای تعادل میرسد، خنک‌کاری‌های بازبایی و تشعشی شامل این نوع خنک‌کاری می‌باشند. روش دوم خنک‌کاری بر اساس انتقال حرارت گذرا یا انتقال حرارت ناپایا است، این نوع خنک‌کاری، خنک‌کاری چاه حرارتی نیز نامیده می‌شود و در آن محفظه پیشران به یک حالت تعادل گرمایی نمی‌رسد و درجه حرارت به تدریج با پیشرفت موشک افزایش می‌یابد، ظرفیت جذب حرارت تا پایان انجام مأموریت موشک محاسبه می‌شود، در واقع قبل از اینکه مواد استفاده شده در محفظه پیشران به حالت بحرانی و ذوب برسند، کار محفظه احتراق پایان یافته است. از این

روش درمحفظة‌های با فشار و نرخ انتقال حرارت پایین استفاده می‌شود خنک کاری فیلم و مقاوم‌های حرارتی مخصوص (پوششها) در هر دو بخش ذکر شده خنک کاری بالا استفاده می‌شود [۱۱].

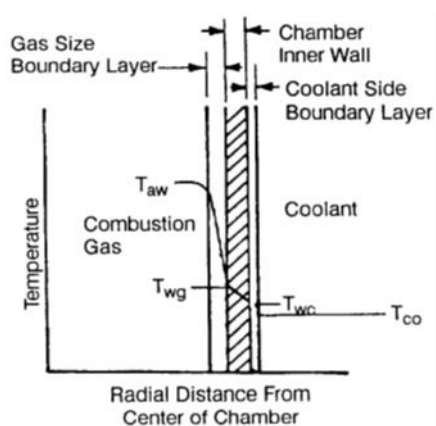
۳-۳- روش‌های خنک کاری موتورهای سوخت مایع

در طراحی موتور سوخت مایع به علت بالا بودن دمای محفظه احتراق ($4000-6000^{\circ}\text{F}$) و نرخ بالای انتقال حرارت از گازهای داغ به دیواره، خنک کاری محفظه احتراق از اهمیت بالایی برخوردار است. در موتورهایی که زمان کارکرد کوتاهی در حد چند ثانیه دارند، می‌توان از محفظه‌هایی بدون خنک کاری استفاده کرد. در این محفظه‌ها، دیواره همانند یک چاه حرارتی گرمای قابل توجهی را به خود جذب می‌کند. اما موتورهایی با زمان کارکرد زیاد به سیستم‌های خنک کاری نیاز دارند. هدف سیستم خنک کاری، تأمین کار مطمئن جداره در مدت طول عمر تعریف شده در کنار حداقل افت‌های ضربه ویژه و حداقل وزن سازه است. برای جلوگیری از گرمایش بیش از حد دیواره محفظه رانش در موتورهای موشکی سوخت مایع جدید، از روش‌های مختلف خنک کاری و حفاظت حرارتی استفاده می‌نماید. به طور کلی روش‌های خنک کاری در موتورهای موشکی سوخت مایع عبارتند از:

- خنک کاری باز یابی
- خنک کاری قشری (لایه‌ای)
- خنک کاری فیلمی
- خنک کاری تراوشی
- خنک کاری دفعی
- خنک کاری فرسودنی (فناپی)
- خنک کاری با استفاده از مواد عایق
- خنک کاری با استفاده از چاه حرارتی
- خنک کاری تشعشعی

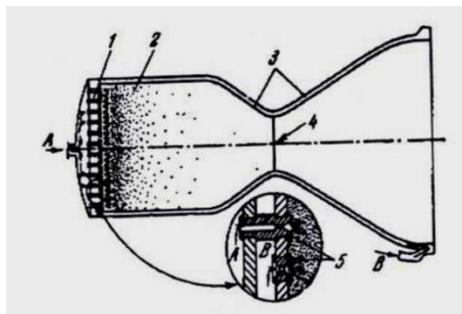
۳-۳-۱- خنک کاری باز یابی

این شیوه مهمترین روش خنک کاری در موتورهای سوخت مایع است. در این روش، جداره‌های محفظه احتراق به وسیله سیال خنک کننده شسته می‌شود. خنک کاری باز یابی بدین معنی است که مقدار حرارت اصلی منتقل شده به دیواره ناشی از گازهای داغ به وسیله یکی از عناصر اصلی (سوخت یا اکسیدکننده) گرفته می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ - شماتیک انتقال حرارت برای خنک کاری باز یابی [۲]

بدین جهت محفظه احتراق از دوپوسته ساخته می‌شود و عنصر خنک‌کننده به طور مستقیم به صفحه انژکتور وارد نمی‌شود، بلکه ابتدا به کلکتور نازل وارد می‌شود و از آنجا در جهت خلاف جریان به انژکتور هدایت می‌شود که مقدار لازم حرارت را از دیواره داخلی جذب می‌کند (شکل ۲).



شکل ۲ - نمونه‌ی خنک‌کاری بازیابی [۱]

۱- صفحه انژکتورها، ۲- مخلوط سوخت و اکسیدکننده، ۳- پوسته داخلی و خارجی محفظه احتراق، ۴- گلوگاه، ۵- انژکتور سوخت (B) و اکسیدکننده (A)

برای اتصال پوسته‌ها به یکدیگر از روش‌های متعددی استفاده می‌شود که متداولترین آنها عبارت اند از:

در روش اول اتصال پوسته‌ها به یکدیگر به کمک یک ورق نازک صورت می‌گیرد. روش دوم بدینصورت است که پوسته داخلی که با گاز در تماس است، از یک ورقه نازک با پره‌های طولی فرز شده ساخته می‌شود. سومین روش به نحوی است که ناحیه محفظه احتراق از مجموعه‌ای با لوله‌های نازک به شکل خاص فرم داده شده تشکیل شده است. در همه این طرح‌ها ضخامت المان‌های مقاوم حرارتی خیلی زیاد نیست و در حد چند دهم میلیمتر است و فاصله آزاد عبور یا همان گام جریان که تحت اثر فشار خارجی است در حد سه الی چهار میلیمتر انتخاب می‌شود. جنس پوسته داخلی از مس یا برنز و جنس پوسته خارجی از نیکل و یا فولاد ساخته می‌شود. در پوسته خارجی نازل برای تحمل بارهای نیرویی رینگ‌هایی (حلقه‌هایی) برای محکم شدن نصب می‌شود. چون ضخامت دیواره خنک شونده خیلی زیاد نیست و جنس آن از سری مواد هادی حرارت است مقاومت حرارتی دیواره خیلی کم است بنابراین حرارت تا نقطه ذوب بالا نمی‌رود و سیستم خنک کاری حتی با چنین فلز سبکی مانند مس به خوبی و کاملاً مناسب کار می‌کند. برای اتصال پوسته‌ها و شبکه‌ها به یکدیگر از بریز در خلأ یا فویل‌های به نسبت کنترل دقیق و فیکسچرهای خاصی استفاده می‌شود.

از این رو سیستم خنک کاری را به گونه‌ای میتوان طراحی کرد که شار گرمایی بالایی را بدون خطر ایجاد نقاط داغ یا سوختگی جذب کند، مخصوصاً در گلوگاه که بالاترین شار گرمایی را داریم. نکته دیگر اینکه سطح این لوله‌ها در مقاطع مختلف متفاوت است، مثلاً در گلوگاه برای خنک کاری بیشتر لوله‌ها به صورت بازتری نصب می‌شوند تا ضریب انتقال گرمای طرف مایع با افزایش احتمالی سرعت خنک‌کننده بیشتر شود این کار به این شکل انجام می‌شود که طراحی به صورت یک رفت و نیم برگشت صورت می‌گیرد، بنابراین بخشی از نازل شامل دو برابر لوله‌های موجود در محفظه احتراق است. خنک کاری بازیابی معمولاً برای موشک‌های با تراست‌های متوسط و بالا استفاده می‌گردد.

۴- نرخ انتقال حرارت در نازل

رژیم‌های حرارتی، در نازل به رژیم‌های پایدار و متغیر نازل تقسیم می‌شود. در نازل دمای جریان در رژیم حرارتی پایدار، نسبت به زمان ثابت، اما دمای بدنه از یک نقطه دیگر متفاوت است. محفظه به اندازه کافی نازک است و می‌توان فرض کرد که وضعیت حرارتی در نتیجه جریان گازی سیال، پایدار و یکنواخت است و انتقال حرارت از طرف بیرونی دیواره خنک شونده صورت می‌گیرد. مقدار حرارت انتقالی از دیواره محفظه خیلی کمتر از کل انرژی جریان است اما این مقدار کم حرارت گاز، اثر بسیار زیادی روی سازه محفظه می‌گذارد. در انتقال حرارت جابجایی، فقط لایه‌ای که در نزدیکی دیواره قرار دارد در این فرآیند شرکت می‌کنند (لایه مرزی) مشخصه تغییر درجه حرارت در لایه مرزی، ساختار و ضخامت آن تابعی از ویسکوزیته جریان و همچنین سرعت جریان یا به عبارت کلیتر توربولانس آن است. فقط ۵٪ تا ۵۰٪ از کل انرژی تولید شده در گاز،

به صورت حرارتی به دیواره‌های محفظه انتقال داده می‌شود. مثلاً برای یک موشک با تراست 44820 N (10000 lbf) نرخ حرارتی که به دیواره‌ها منتقل می‌شود بین 75% تا $3/5\text{ MW}$ بستگی به شرایط و طراحی دارد.

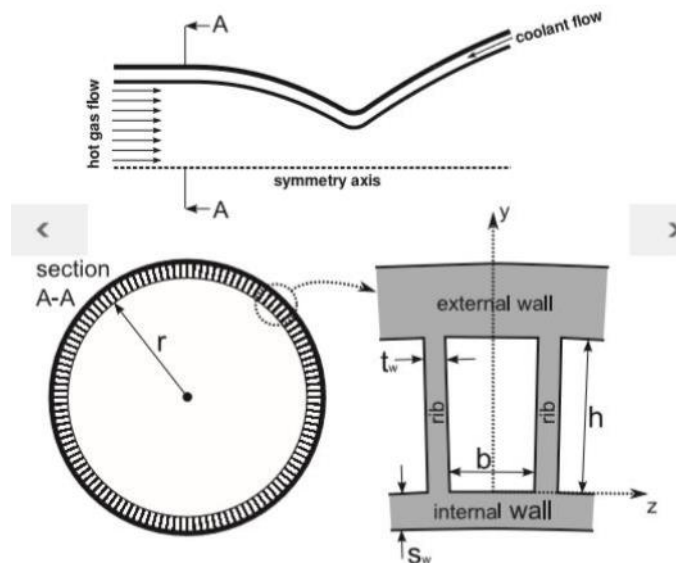
مقدار انتقال حرارت ناشی از هدایت جریان گاز گرم به دیواره‌ها ناچیز است ولی بیشترین انتقال حرارت به وسیله جریان همرفتی (جابجایی) و حدود 5% تا 35% نیز به وسیله انتقال حرارت تشعشعی صورت می‌گیرد در یک فشار ثابت محفظه با افزایش سطح دیواره به خنک کاری با راندمان بالاتری خواهیم رسید، بنابراین این خنک کاری در سایزهای بزرگتر، راحت‌تر است اما نیروی پیشران نیز به شدت با افزایش سطح کاهش می‌یابد که برای جبران آن فشار بالای محفظه احتراق را می‌طلبد اما از طرف دیگر مواد دیواره ما را محدود می‌کند در نتیجه هدف، طراحی سیستمی با فشار بالای محفظه احتراق و نرخ انتقال حرارت بالا البته با در نظر گرفتن محدودیت‌های مواد است. نرخ انتقال حرارت معمولاً از 16 KW/Cm^2 (0.3 Btu/in^2) تا 10 Btu/in^2 (50 KW/Cm^2) تغییر می‌کند. بیشترین مقدار معمولاً در گلوگاه و کمترین مقدار در خروجی نازل است [۱۰].

۴-۱- محاسبه انتقال حرارت در خنک کاری بازبایی

در بخش‌های قبل، ضرورت و انواع روش‌های خنک کاری مطرح گردید. موشک‌های با ابعاد بزرگ از موتورهای با سوخت مایع که دارای سیستم خنک کاری بازبایی هستند استفاده می‌کنند. این نوع خنک کاری از خنک کارهای اساسی در این نوع موتورها است، شکل (۳) نمایی کلی از این نوع خنک کاری را نشان می‌دهد. برای طراحی این نوع سیستم خنک کاری ضروری است که پدیده‌های انتقال حرارت در نازل محفظه پیشران به خوبی درک شود. اکنون می‌خواهیم بررسی کنیم که چگونه شارهای گرمایی و دمای دیواره را در محفظه پیشران موشک‌های سوخت مایع خنک کاری بازبایی می‌توان برآورد کرد. سپس تأثیر آنها را بر روی پارامترهای اساسی نازل دنبال می‌کنیم. پارامترهای کلیدی و اساسی که در این موتورها معرفی و مطرح می‌شوند عبارت‌اند از:

- بیشترین درجه حرارتی که به دیواره می‌رسد T_{Max}
- افت فشار خنک‌کننده‌ای که در کانال‌ها جریان می‌یابد Δp

محاسبه نفوذ گرما به دیوار و همچنین محاسبه بیشترین مقدار آن از جهت برآورد زمان کارکرد موتور موشک و از بین رفتن سازه آن ضروری است و محاسبه افت فشار مایع خنک‌کننده در کانال‌ها جهت تعیین ابعاد و قدرت پمپ در سیستم بسیار مهم است پدیده‌های مختلف بسیاری در عملکرد موتور موشک سوخت مایع دخالت دارند، اما به طور کلی سوخت و عامل اکسیدکننده در حالت مایع با یک نسبت گذر جرمی مخصوص به داخل محفظه احتراق پاشیده می‌شوند و پس از پودر شدن، مخلوط و واکنش شیمیایی (سوختن) به بالاترین سطح فشار و درجه حرارت می‌رسند و تولید گازی می‌شود که از داخل یک نازل همگرا و اگر عبور می‌کند، نازل و محفظه احتراق برای تحمل کردن این درجه حرارت بالا باید خنک نگه داشته شود یعنی درواقع می‌بایست خنک کاری گردد و برای خنک کاری معمولاً از سوخت قبل از اینکه برای پاشش به انژکتورها هدایت شود، استفاده می‌شود، در هنگام شروع واکنش گازهای تولیدشده دارای سرعت مادون صوت هستند و به تدریج در حرکت در محفظه احتراق سرعت افزایش یافته تا اینکه در گلوگاه نازل به سرعت صوت می‌رسند و هنگامیکه محفظه را ترک می‌کند دارای سرعت مافوق صوت می‌باشند [۷].



شکل ۳- مقطع عرضی از سیستم خنک کاری بازتابی [۱۰].

۲-۴- معادلات حاکم

-معادله پیوستگی

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_j) = 0, \rho = \text{cte.} \quad (1) \quad [39]$$

-معادله ممنتوم

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_i v_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial v_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v_i v_j}), i = 1, 2, 3, \quad (2) \quad [39]$$

معادلات بالا، معادلات RANS نامیده می‌شوند. این معادلات، همان معادلات ناویر استوکس است که ترم نوسانی $-\rho \overline{v_i v_j}$ به آن اضافه شده است. برای بستن معادلات (از لحاظ ریاضی) باید به نحوی تنش‌های رینولدز را مدل کرد.

معادلات انتقال در مدل $k-\epsilon$ RNG:

معادلات انتقالی مربوط به مدل RNG، شکلی مشابه مدل استاندارد دارد و به شکل زیر است.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3) \quad [39]$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{K} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{K} - R_\epsilon + S_\epsilon \quad (4) \quad [39]$$

در این معادلات G_k ، تولید انرژی جنبشی اغتشاشی ناشی از گرادیان‌های سرعت متوسط را نشان می‌دهد. $C_{1\epsilon}$ و $C_{2\epsilon}$ و $C_{3\epsilon}$ ، ثوابت مساله‌اند و G_b ، تولید انرژی جنبشی اغتشاشی ناشی از شناوری خواهد بود.

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (5) \quad [39]$$

در این رابطه

$$Pr_t = \frac{1}{\alpha} \quad (6) \quad [39]$$

در معادله (۳)، μ_{eff} لزجت موثر و مجموع لزجت آشفته و آرام جریان است. α را نیز می‌توان از رابطه (۷) به دست آورد.

$$\left| \frac{\alpha - 1.3929}{\alpha_0 - 1.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\alpha + 2.3929}{\alpha_0 + 2.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\mu_{mol}}{\mu_{eff}} \quad (7) \quad [39]$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{Pr} = \frac{K}{\mu C_p} \quad (8) \quad [39]$$

و β ، ضریب انبساط حرارتی است. کمیت‌های $k\alpha$ و $\varepsilon\alpha$ ، معکوس اعداد پراتل موثر k و ε و Sk و Se نیز جمله‌های چشمه هستند. بی‌بعد سازی معادلات RNG، منتج به یک معادله دیفرانسیل برای لزجت اغتشاشی می‌شود.

$$d \left(\frac{\rho^2 k}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \right) = 1.72 \frac{\nu}{\nu^3 - 1 + C_D} d\nu \quad (9) \quad [39]$$

$$\nu = \frac{\mu_{eff}}{\mu} \quad (10) \quad [39]$$

$$C_D = 100 \quad (11) \quad [39]$$

برای این که بدانیم انتقال اغتشاشی موثر، چگونه با عدد رینولدز موثر و یا ادی‌ها تغییر می‌کند باید از معادله دیفرانسیل (۹) انتگرال بگیریم. این کار به مدل این اجازه را می‌دهد که بهتر جریان‌های نزدیک دیواره و یا جریان‌های با عدد رینولدز پایین را شبیه‌سازی کند. معادله دیفرانسیل با قید اعداد رینولدز بالا به شکل زیر در می‌آید.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (12) \quad [39]$$

که $C_\mu = 0.0845$ و از تئوری RNG به دست می‌آید در مدل $k-\varepsilon$ استاندارد این ثابت به صورت تجربی به دست می‌آید و مقداری برابر 0.09 دارد که بسیار نزدیک به مقدار تئوری آن است. مقدار لزجت موثر به صورت پیش‌فرض از معادله (۱۲) حساب می‌شود؛ هنگام استفاده از این مدل، زمان‌هایی که نیاز به در نظر گرفتن اثرات عدد رینولدز پایین هست، می‌توان با فعال کردن گزینه مربوط از این امکان بهره گرفت. مقادیر کمیت‌های $k\alpha$ و $\varepsilon\alpha$ را می‌توان از رابطه‌های زیر به دست آورد.

$$\left| \frac{\alpha - 1.3929}{\alpha_0 - 1.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\alpha + 2.3929}{\alpha_0 + 2.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\mu_{mol}}{\mu_{eff}} \quad (13) \quad [39]$$

که $\alpha_0 = 1$ است. در جریان‌های با عدد رینولدز بالا که خواهیم داشت:

$$\alpha_k = \alpha_\varepsilon \approx 1.393 \quad (14) \quad [39]$$

البته مهم‌ترین تفاوت مدل‌های RNG و k-ε استاندارد به ترم R_ε در معادله ε مربوط می‌گردد. این ترم از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$R_\varepsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^3} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (15) \quad [39]$$

که در رابطه بالا

$$\eta = \frac{SK}{\varepsilon} \quad \eta_0 = 4.38 \quad \beta = 0.012$$

با جایگذاری این معادله در معادله (۴) و مرتب کردن آن به رابطه زیر می‌رسیم.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{K} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon}^* \rho \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (16) \quad [39]$$

$$C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^3} \quad (17) \quad [39]$$

در مواقعی که $\eta < \eta_0$ ، مقدار R در معادله اصلی، مثبت شده و $C_{2\varepsilon}^*$ از $C_{2\varepsilon}$ بزرگتر می‌شود. در قسمت لایه لگاریتمی می‌توان نشان داد که $\eta \approx 3.0$ و $C_{2\varepsilon}^* \approx 2.0$ خواهند شد که از لحاظ اندازه به مقادیر $C_{2\varepsilon}$ در مدل k-ε استاندارد، نزدیک می‌شود.

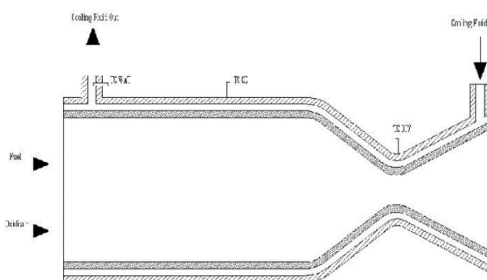
در مواردی که $\eta > \eta_0$ ، مقدار R در معادله اصلی، منفی شده و $C_{2\varepsilon}^*$ از $C_{2\varepsilon}$ کوچکتر می‌شود. در مقایسه با مدل k-ε استاندارد، مقدار کوچکتر نرخ اضمحلال ε ، ε را افزایش و K و در نهایت لزجت موثر را کاهش می‌دهد.

در قسمت لایه لگاریتمی می‌توان نشان داد که $\eta \approx 3.0$ و $C_{2\varepsilon}^* \approx 2.0$ خواهند شد که از لحاظ اندازه به مقادیر $C_{2\varepsilon}$ در مدل k-ε استاندارد، نزدیک می‌شود. در نتیجه در جریان‌های سریعاً کرنش یافته، مدل RGN، نسبت به مدل k-ε استاندارد، به مقادیر کوچکتری از لزجت آشفتگی منتهی می‌شود. همچنین ثوابت $C_{1\varepsilon}$ و $C_{2\varepsilon}$ در معادله ε ، به صورت تحلیلی به دست می‌آیند و به صورت زیر هستند.

$$C_{1\varepsilon} = 1.42, \quad C_{2\varepsilon} = 1.68,$$

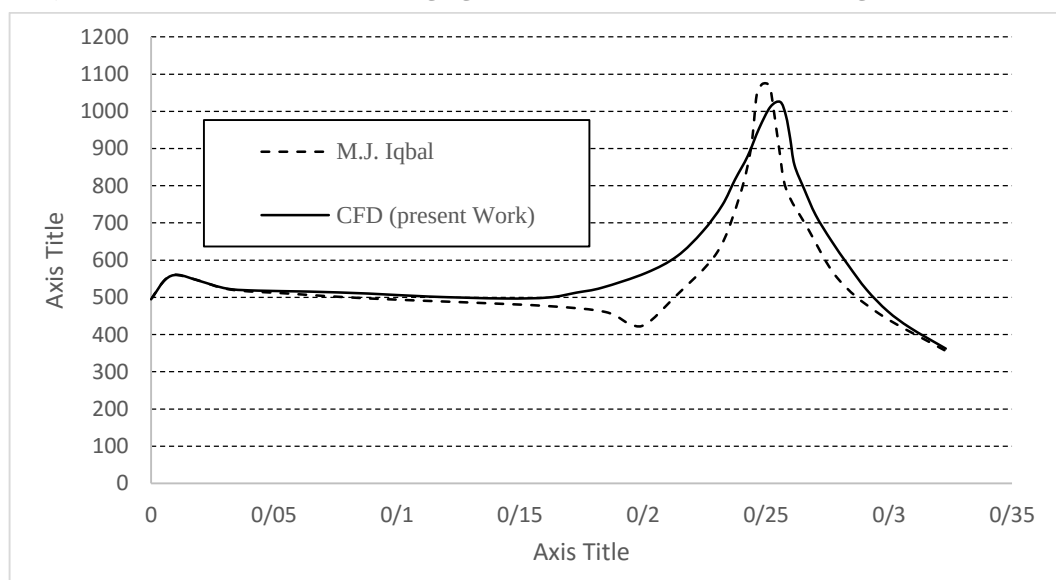
۵- اعتبار سنجی

از آنجایی که در این تحقیق از روش عددی استفاده شده است ابتدا باید نشان داده شود این روش برای این تحقیق کاربرد داشته و از دقت قابل قبولی برخوردار است. با انتخاب کار اقبال و همکارانش در این زمینه که تصویر آن در شکل (۴) نشان داده شده است بصورت کامل شبیه‌سازی شد و نتایج به دست آمده با کار مقاله مذکور مقایسه گردید.



شکل ۴ - هندسه‌ی اعتبارسنجی [۸]

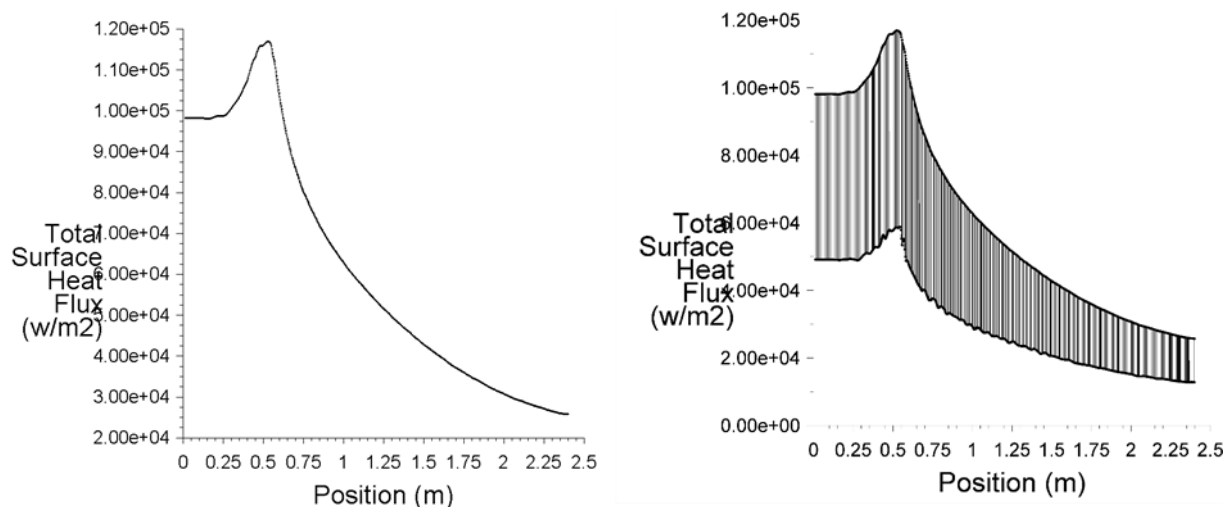
شکل (۵) مربوط به مقایسه‌ی آنچه که در مقاله گزارش شده است با کار شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار فلوئنت و با استفاده از روش استفاده در این تحقیق می‌باشد. مشخصات این نمودار بدین صورت می‌باشد که روی محور افقی فاصله از ابتدا قرار داده شده است و روی محور عمودی دما روی دیواره قرار گرفته است. نتایج مربوط به بررسی چنین نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین نتایج انجام گرفته با مقاله دارد. بیشترین اختلاف مربوط به قبل از گلوگاه می‌باشد که به دلیل استفاده از ساده‌سازی‌هایی می‌باشد که در استفاده از مدل اغتشاش انجام گرفته است.



شکل ۵ - اعتبار سنجی نتایج با کار اقبال

۶- شار حرارتی اعمال شده

شکل (۶) شار حرارتی اعمال شده را نشان داده که با استفاده از یک کد به نرم‌افزار داده شده است. شرط مرزی در ورودی ۲۵ MPa، در خروجی "جریان خروجی" و دیواره‌ها بصورت شرط عدم لغزش لحاظ شده است. همانطور که گفته شد در سمت دیواره‌ی نازل شرط شار متغیر قرار گرفته و در دو سمت کناری با توجه به تقارن شکل شرط مرزی شار صفر و در طرف رو به خارج شرط دما ثابت لحاظ شده است.

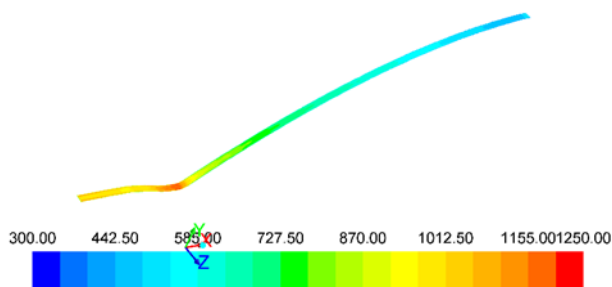


شکل ۶ - پروفیل شار گرمایی اعمال شده روی دیواره

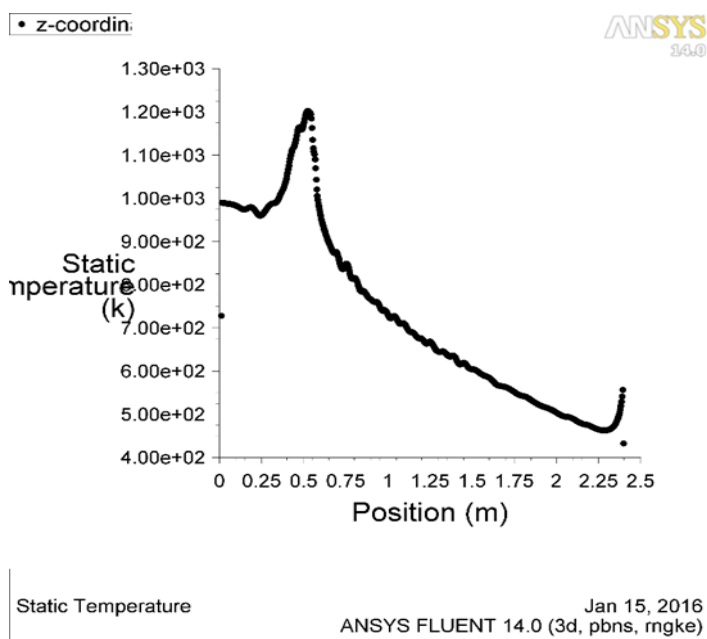
۷- نتایج حاصل از شبیه سازی عددی دما روی صفحه ی پایین

سیال سوخت کرایونیک با دمای 500 K وارد مجرا شده (ورودی مجرا از سمت راست است) و درضمن خنک کاری دیواره ی در تماس با نازل، خود سوخت گرم شده و دمای آن افزایش پیدا می کند. این افزایش دما بصورت مرتب ادامه دارد تا در گلوگاهی به بیشترین مقدار می رسد و بعد از گلوگاهی دوباره دمای آن مقدار کاهش پیدا می کند تا در خروجی با دمای حدود 1000 K آماده برای ورود به محفظه برای احتراق خواهد شد. در رابطه با این شکل چند نکته وجود دارد:

- افزایش دما در لحظه ی ورود تا گلوگاهی می باشد، که مطابق انتظار دمای سیال سوخت کرایونیک بطور پیوسته افزایش می یابد و این به دلیل مجاورت سیال در کنار گاز خروجی گرم می باشد.
- بیشترین دما در ناحیه ی گلوگاهی می باشد و این، به آن دلیل بوده که در این منطقه سطح منطقه به کمترین مقدار خواهد رسید، پس انتظار می رود گرمای بیشتری از طرف گاز احتراق شده به سیال وارد شود که این موجب افزایش شدید دما در این منطقه خواهد شد .
- کاهش دما در بعد از گلوگاهی مشاهده شده است، دلیل این امر می تواند به احتراق برگردد که در ابتدا هنوز بطور کامل انجام نگرفته و هنوز گازهایی با دمای پایین در نازل وجود دارد که این باعث می شود دمای سیال مقدار اندکی بعد از گلوگاهی کاهش یابد.



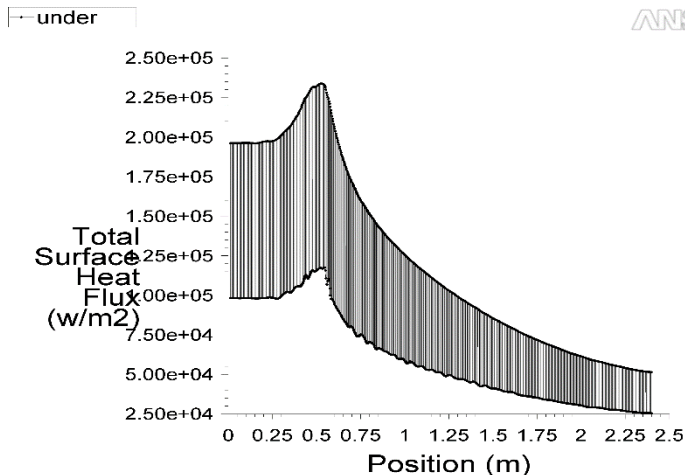
شکل ۷ - کانتور توزیع دما در صفحه ی پایینی مجرای حامل سوخت



شکل ۸- نمودار تغییرات دمایی روی خط پایینی در صفحه ی پایینی

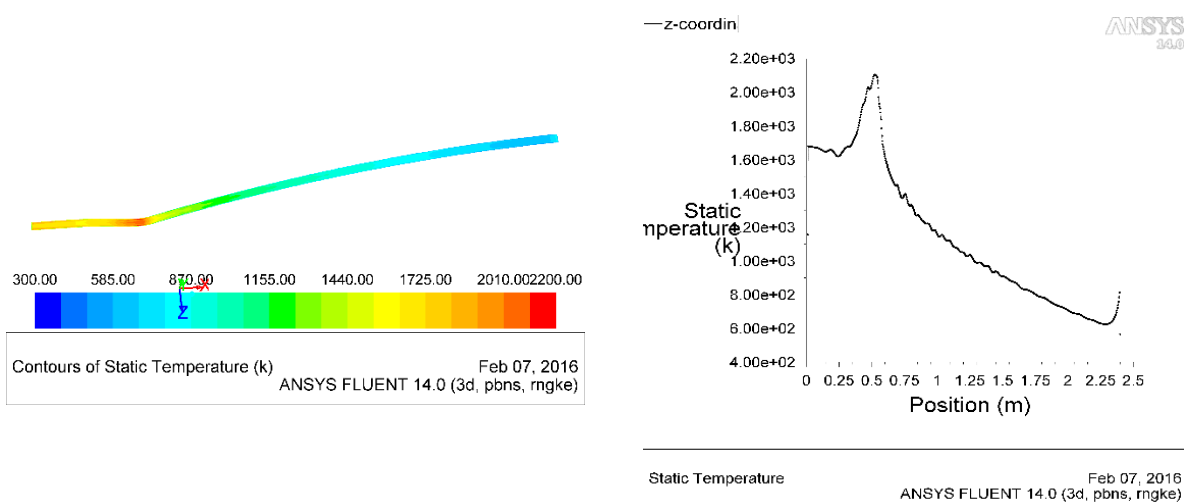
۸- افزایش شار به مقدار دوبرابری

مقدار شار در مرز را به دو برابر مقدار اولیه افزایش داده و نتایج در زیر گزارش خواهد شد. در این بررسی دیگر شرایط مرزی تغییر نخواهد کرد و فقط شرط مرزی مربوط به شار حرارتی افزایش پیدا خواهد نمود. این شرط مرزی در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹- شار حرارتی اعمال شده روی مرز متصل به منبع گرمایی (نازل پیشران)

قطعاً انتظار می‌رود با افزایش شار حرارتی روی مرز، مقدار گرمای جذب شده توسط سیال خنک کاری افزایش پیدا کرده و به دنبال آن، دمای سیال خنک کاری زیاد گردد. نتایج مربوط به دمای سیال خنک کاری روی خط مرکزی در شکل (۱۰) نشان داده است.

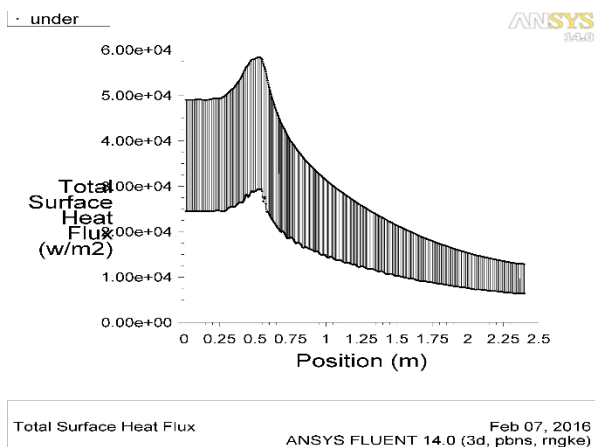


شکل ۱۰- دما روی خط مرکزی صفحه‌ی بین محفظه گاز داغ و سیال خنک کاری

همانطور که این شکل نشان می‌دهد بیشترین مقدار دما در مرکز نازل همگرایی رخ داده و این مقدار به حدود ۲۱۰۰ درجه‌ی کلوین رسیده است.

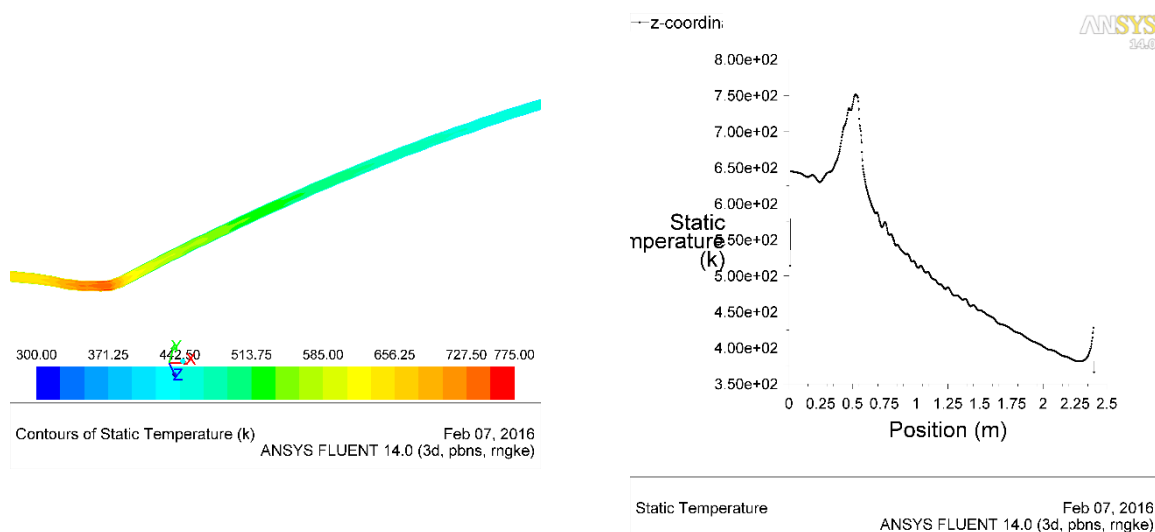
۹- کاهش شار به مقدار نصف

دیگر حالتی که در اینجا بررسی خواهد شد مربوط به حالتی است که مقدار شار، به نصف مقدار اولیه رسیده باشد. این شار اعمالی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مذکور معلوم است مقدار شار در بیشترین مقدار به ۶۰ کیلو وات بر مترمربع رسیده است.



شکل ۱۱- شار حرارتی اعمال شده روی مرز متصل به منبع گرمایی (نازل پیشرانش)

با توزیع شار نشان داده شده در شکل قبل، مقدار دما در صفحه‌ی مشترک همانند شکل (۱۲) خواهد شد.



شکل ۱۲- دما روی خط مرکزی صفحه‌ی بین محفظه گاز داغ و سیال خنک کاری

۱۰- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر شار با افزایش و کاهش شار بر دمای دیواره محفظه احتراق بررسی شد. نتایج حاکی از آنست که با افزایش دوبرابری مقدار شار در مرز دما افزایش پیدا می‌کند اما این افزایش دما به مقدار دو برابری نیست و به علت ارتباط دمایی با محیط و عدم تغییر در دیگر شرط مرزها، دما به مقدار دو برابری افزایش پیدا نخواهد کرد و همچنین اگر مقدار شار در مرز کاهش پیدا کند به همین دلیل مقدار افت دما با این نسبت نخواهد بود. از این نمودار و یافتن تغییرات دمایی می‌توان نوع مواد بدنه را متناسب با دما بگونه‌ای انتخاب کرد که اولاً مقاومت لازم در برابر این حرارت را داشته باشد و ثانیاً نوع بدنه بگونه‌ای باشد که وزن اضافه‌ای به سیستم وارد ننماید.

مراجع

۱. امی، فتح اله. ۱۳۷۲. اصول مقدماتی و طراحی موشک سوخت مایع. انتشارات ماجد.
۲. سلیمانی، احمد و میر ساجدی، سید مهدی ۱۳۹۰ بررسی فرایند خنک کاری محفظه احتراق پیشران های فضایی سوخت مایع، مجله مهندسی مکانیک شماره ۸۰ سال بیستم، صفحه ۱۳ تا ۲۴.
۳. صنیعی نژاد، مهدی. ۱۳۸۸. مبانی جریان های آشفته و مدل سازی آنها. دانش نگار.
۴. عیسی خانی، محمد. ۱۳۸۱. شبیه سازی تأثیر پارامترهای هندسی و فیزیکی در خنک کاری به روش بازیابی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس.
5. Bejan, A. "Heat Transfer" Willey, New York 1993.
6. Huzel, k. & Huagng, H. "Design of Liquid Propellant Rocket Engines", National Aeronautics and Space Administration, Virginia, 1967.
7. M. H. Naraghi, Department of Mechanical Engineering, Manhattan College, Riverdale, NY10471, A Model for Design and Analysis of Regeneratively Cooled Rocket Engines, AIAA-2004-3852.
8. M.J. Iqbal, N.A. Sheikh, H.M. Ali, S. Khushnood, M. Arif, "Comparison of empirical correlations for the estimation of conjugate heat transfer in a thrust chamber", -Life Science Journal 2012;9(4)pp.708-716
9. Patankar, Suhas. Numerical heat transfer and fluid flow. CRC press, 1980.
10. Sutton G., P., "Rocket Propulsion Elements", JOHN WILEY & SONS, INC., 6TH EDITION, 1992.
11. Traci, Richard M., John L.Farr, Tony Laganelli "A Thermal Management System Model for the NASA GTX RBCC Concept" NASA / CR - 2002 - 211587.

Analysis of the effect of flux penetrating the wall temperature in the Regenerative Cooling cryogenic Combustion chamber

Fateme Gholami * , Kouros Nekoufar

1. graduate student, atiza_gholami64@yahoo.com

2. Assistant Professor, Faculty, nekoufar@iauc.ac.ir

Abstract

Liquid rocket engine design, combustion due to high temperatures and high rates of heat transfer ($1\text{MW} / \text{m}^2$ to about $160\text{MW} / \text{m}^2$) of hot gases to the chamber walls, the cooling thrust chamber of the utmost importance. The thrust chamber cooling design, selection of appropriate methods, design and related topics thrust chamber cooling ducts, double glazing and thermal coating is very important. Liquid propellant engine in the wall of the combustion chamber and nozzle is necessary in order to prevent the failure of a cooling system used engine block resistance. Cooling the refrigerant recovery method (usually fuel) through channels for which it is embedded in the engine block and passed through the engine block reduces the temperature. Modeling and analysis of fluid flow channels in the engine cooling liquid propellant because of the high heat flux one of the most important and most challenging issue in the context of this type of engine. That's why in this article cooling channel recovery numerical simulation is a liquid propellant engine. The engine is fed with cryogenic cooling and cryogenic propellant as the cooling fluid is intended. to increase or decrease the amount of flux is not.

Key words: liquid propellant engine, the combustion chamber, cooling channel, cryogenic fuels, Regenerative Cooling.

حسگری همکارانه طیف با استفاده از آنتن‌های چند گانه در سیستم‌های رادیو شناختگر

سید علی اکبر هاشمیان^۱، حمید فرخی^۲، محمد صادقیان کردآبادی^۳، رضا قاضی‌زاده^۴

Alihashemian@birjand.ac.ir

Hfarrokhi@birjand.ac.ir

Mohammad.sadeghian@birjand.ac.ir

Rghazizade@birjand.ac.ir

چکیده

رادیو شناختگر به عنوان یک راه حل مفید برای مقابله با مسئله محدودیت طیف فرکانسی در شبکه‌های بی سیم ارائه شده است. در این فناوری، دستیابی پویا به طیف میسر می‌شود. حسگری طیف، به عنوان اساسی‌ترین بخش رادیو شناختگر، ابزاری است که علاوه بر جلوگیری از ایجاد تداخل برای کاربران دارای مجوز، با تشخیص حفره‌های طیفی، استفاده بهینه از پهنای باند را نیز افزایش می‌دهد. با این حال، عملکرد آشکارسازی به دلیل مسائلی همچون اثر سایه، محوشدگی چند مسیره و عدم اطمینان گیرنده، با مشکل مواجه می‌شود. لذا برای غلبه بر این مشکلات، می‌توان از حسگری طیف همکارانه به همراه چندگانگی فضایی بهره برد. در این مقاله، حسگری طیف به روش آشکارساز انرژی در دو حالت همکارانه و غیر همکارانه در سیستم‌های چند آنتنه بررسی می‌گردد. در این حالت با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری، اثر تکنیک‌های چند آنتنه در بهبود احتمال آشکارسازی مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: رادیو شناختگر، حسگری طیف همکارانه، چند آنتنه، آشکارساز انرژی.

۱- مقدمه

افزایش چشمگیر تکنولوژی‌های بی سیم در سال‌های اخیر و نیاز به ارسال اطلاعات با نرخ بالاتر، تقاضا برای دسترسی به طیف را، به شدت افزایش داده است. با توجه به محدود بودن منابع طیفی، در نگاه اول قادر به پاسخگویی این نیاز رو به رشد نخواهیم بود، ولی نتایج تحقیقات انجام گرفته در این زمینه نشان داده است که این کمبود منابع طیفی ناشی از نحوه تخصیص فعلی طیف و نیز نحوه استفاده از آن است. سیستم‌های رادیو شناختگر به عنوان راه‌حلی برای رفع این مشکل و افزایش بهره‌وری طیفی پیشنهاد شده است (یوک و همکاران، ۲۰۰۹: ص ۱۱۶-۱۳۰) و (هایکین، ۲۰۰۵: ص ۲۰۱-۲۲۰). سیستم رادیو شناختگر قادر است بخش‌هایی از طیف را که در زمان و مکان خاص، بدون استفاده هستند، مشخص کرده و سپس بهترین باند فرکانسی را همراه با مقدار پارامترها برای عملکرد مناسب تعیین نماید. دو نوع کاربر در سیستم‌های رادیو شناختگر وجود دارند که کاربر اولیه یا مجاز و کاربر ثانویه یا غیرمجاز نامیده می‌شوند. کاربرهای اولیه برای استفاده از بخش مشخصی از طیف الویت بیشتری دارند و کاربرهای ثانویه در صورت عدم ایجاد تداخل و مزاحمت برای کاربر اولیه، اجازه استفاده از طیف را خواهند داشت. در میان وظایف زیاد یک سیستم رادیو شناختگر، توانایی پیدا کردن کاربرهای اولیه موجود و آشکارسازی حفره‌های طیفی برای استفاده کاربران ثانویه وظیفه‌ی اصلی و ضروری است که حسگری طیف نامیده می‌شود (هریهاران و همکاران، ۲۰۱۳: ص ۱۳۳-۱۳۶)، (ریسی و همکاران، ۲۰۱۱: ص ۲۵۹-۲۶۵). بخش حسگری طیفی در سیستم‌های رادیو شناختگر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا تمامی تصمیم‌گیری‌های آتی در این سیستم بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده در این بخش، صورت می‌گیرد و یا به عبارت دیگر تنها مسیر ارتباطی سیستم با محیط اطراف، بخش حسگری طیفی است. این سیستم‌ها باید بین باندهای فرکانسی خالی و اشغال‌شده تمایز قائل شوند و بتوانند آن‌ها را به درستی و با سرعت

تشخیص دهند. مرحله آشکارسازی باید دارای دقت کافی باشد چرا که در غیر این صورت ممکن است که کاربران ثانویه با این فرض که کاربر اولیه در باند فرکانسی مورد بررسی حضور ندارد، شروع به ارسال سیگنال خود نمایند و لذا سیگنال این کاربران با سیگنال کاربران اولیه تداخل کرده و موجب اختلال در عملکرد مخابرات کاربران اولیه گردد. همچنین از سوی دیگر تصمیم‌گیری در مورد وجود یا عدم وجود کاربر اولیه باید در حداقل زمان ممکن صورت گیرد تا از یک طرف، زمانی که کاربر اولیه در طیف فرکانسی مورد بررسی حضور ندارد از منابع طیفی به سرعت استفاده شود و از طرف دیگر، با شروع فعالیت کاربر اولیه، کاربر ثانویه به سرعت باند فرکانسی را خالی نموده و در اختیار کاربر اولیه قرار دهد. عملکرد روش‌های حسگری طیف معمولاً با دو احتمال سنجیده می‌شوند (آکیلدیزو همکاران، ۲۰۱۱: ص ۴۰-۶۲)، (جنسن و همکاران، ۲۰۰۵: ۱) احتمال هشدار خطا، p_{fa} ، که بیانگر احتمال این پیشامد است که یک باند فرکانسی خالی که به عنوان حفره طیفی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، به طور اشتباه به صورت یک باند فرکانسی اشغال‌شده در نظر گرفته شود. در حقیقت p_{fa} بیانگر درصدی از حفره‌های طیفی هستند که به صورت بهینه مورد استفاده واقع نمی‌شوند. با توجه به این موضوع و ماهیت استفاده از سیستم‌های رادیو شناختگر، واضح است که احتمال هشدار غلط p_{fa} ، باید در خلال آشکارسازی تا حد ممکن کوچک نگه داشته شود. (۲) احتمال عدم آشکارسازی $p_{m=1}-p_d$ احتمال این پیشامد را که یک باند فرکانسی اشغال‌شده به صورت یک حفره طیفی در نظر گرفته شود، نشان می‌دهد. درواقع p_m نشان‌دهنده میزان تداخلی است که کاربر ثانویه، بر اساس تصمیم‌گیری اشتباه خود، می‌تواند برای کاربر اولیه ایجاد نماید. هر کاربر اولیه با توجه به پارامترهای مورد انتظار خود، حداکثر می‌تواند میزان خاصی از تداخل را تحمل نماید. بنابراین با توجه به این میزان قابل قبول تداخل، احتمال p_m باید از یک مقدار مشخص کوچک‌تر باشد (یا به صورت معادل احتمال آشکارسازی صحیح p_d از مقدار خاصی بزرگ‌تر باشد) تا میزان تداخل حاصل از کاربر ثانویه بر روی کاربر اولیه از این طریق محدود گردد یعنی: $p_m \leq I_p$ که پارامتر I_p تعیین‌کننده میزان تداخل مجاز بوده و با توجه به نوع کاربرد، توسط استانداردهای موجود تعیین می‌گردد. روش‌های حسگری طیف در سیستم‌های رادیو شناختگر در دو گروه کلی به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) حسگری طیف غیر همکارانه (آشکارسازی فرستنده)

در روش حسگری طیف غیر همکارانه که به عنوان آشکارسازی فرستنده نیز شناخته شده است یک کاربر رادیو شناختگر، باندهای طیفی بلااستفاده و استفاده‌شده را از هم متمایز می‌سازد. یک کاربر ثانویه باید قادر به تصمیم‌گیری درباره حضور سیگنال فرستنده اولیه در یک زمان و باند فرکانسی معین باشد. اساس این روش، آشکارسازی سیگنال نسبتاً ضعیفی از فرستنده اولیه از طریق مشاهدات محلی و فردی کاربران ثانویه است. مدل فرضیه عمومی برای حسگری طیف غیر همکارانه به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$x(t) = \begin{cases} n(t) & H_0 \\ hs(t) + n(t) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

$x(t)$ سیگنال دریافت شده به وسیله کاربر رادیو شناختگر، $s(t)$ سیگنال ارسال‌شده از کاربر اولیه، $n(t)$ نویز سفید گوسی و h بهره کانال است. H_0, H_1 به ترتیب فرضیه عدم حضور یا حضور کاربر اولیه می‌باشد.

به‌طور معمول چند طرح اصلی برای حسگری طیف غیر همکارانه وجود دارد که عبارتند از: آشکارسازی فیلتر منطبق، آشکارسازی انرژی و آشکارسازی ویژگی‌های ایستای دوره‌ای (آتاپاتو و همکاران، ۲۰۱۱: ص ۱۲۳۲-۱۲۴۱).

آشکارساز انرژی، معمول‌ترین روش حسگری طیفی است که پیچیدگی محاسباتی و پیاده‌سازی بسیار پایینی دارد. به علاوه آشکارساز انرژی، نیاز به هیچ‌گونه اطلاعاتی از سیگنال کاربر اولیه ندارد و به همین دلیل در حسگری طیفی برای سیستم‌های رادیو شناختگر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. آشکارسازی از طریق مقایسه توان سیگنال دریافتی با سطح آستانه‌ای که تابعی از توان نویز است انجام می‌شود (آتاپاتو و همکاران، ۲۰۱۱: ص ۱۲۳۲-۱۲۴۱).

ب) حسگری طیف همکارانه

در روش حسگری غیر همکارانه، کاربر رادیو شناختگر می‌تواند مستقل از کاربران رادیو شناختگر دیگر سیگنال کاربر اولیه را به وسیله‌ی مشاهدات خود آشکارسازی و آنالیز کند. از آنجایی که عملکرد آشکارسازی در عمل اغلب با محوشدگی چند مسیر، اثر سایه و مسئله گره پنهان

به خطر می‌افتد، حسگری طیف همکارانه با بهره‌برداری از چندگانگی فضایی یک روش مؤثر برای کاستن این عوامل و بهبود عملکرد آشکارسازی است. تصمیم همکارانه ترکیب شده، می‌تواند بر نقص فردی هر کاربر رادیو شناختگر غلبه کند. در نتیجه حسگری طیف همکارانه، عملکرد آشکارسازی را تا حد زیادی بهبود می‌بخشد. بر اساس چگونگی به اشتراک‌گذاری داده‌های حاصل از حسگری کاربران رادیو شناختگر همکاری کننده، حسگری طیف همکارانه در سه دسته متمرکز، توزیع‌یافته و تقویت‌شده طبقه‌بندی می‌شود. در حسگری همکارانه متمرکز، یک هویت مرکزی به نام FC فرایند حسگری طیف را در سه گام کنترل می‌کند.

در گام اول، FC یک کانال یا یک باند فرکانسی مورد علاقه برای حسگری را انتخاب می‌کند و به همه کاربران همکاری کننده CR، دستور می‌دهد به‌طور جداگانه حسگری محلی را انجام دهند. در گام دوم همه کاربران CR همکاری کننده، نتایج حسگری خود را از طریق کانال کنترل گزارش می‌دهند و در گام سوم، FC اطلاعات حسگری محلی دریافتی را ترکیب و حضور کاربر اولیه را تعیین می‌کند و این تصمیم به سمت همه کاربران CR منتشر می‌شود (آکیلدیزو همکاران، ۲۰۱۱: ص ۴۰-۶۲).

ترکیب داده‌ها در FC، با دو روش ترکیب نرم و ترکیب سخت صورت می‌پذیرد. در ترکیب نرم داده‌ها، کاربران ثانویه اطلاعات حسگری خود را تماماً به FC ارسال می‌کنند. متداول‌ترین روش‌ها برای ترکیب نرم داده‌ها در FC، روش ترکیب بهره برابر (EGC) و روش MRC می‌باشد. در روش EGC اطلاعات حسگری کاربران ثانویه در ضریب وزن دهی یکسانی ضرب می‌شوند. در روش MRC اطلاعات کاربران ثانویه در مزدوج بهره کانال بین کاربر ثانویه i ام و فرستنده اولیه ضرب می‌شوند. این روش ترکیب، به پهنای باند بیشتری نیاز دارد (آکیلدیزو همکاران، ۲۰۱۱: ص ۴۰-۶۲). در روش ترکیب سخت، هر کاربر ثانویه به‌طور فردی حسگری طیف را انجام می‌دهد و نتیجه حسگری را با یک بیت به FC ارسال می‌کند. FC از قوانین AND یا OR برای ترکیب داده‌ها استفاده می‌کند. در قانون AND اگر تمام کاربران حضور کاربر اولیه را اعلام کنند، FC نیز تصمیم بر حضور کاربر اولیه می‌گیرد. برخلاف حسگری همکارانه متمرکز، حسگری همکارانه به روش توزیع یافته برای تصمیم‌گیری همکارانه به یک FC تکیه ندارد. در این حالت کاربران رادیو شناختگر با یکدیگر در ارتباطند و به وسیله تکرار به یک تصمیم واحد در مورد حضور یا عدم حضور کاربر اولیه همگرا می‌شوند. بر اساس یک الگوریتم توزیع یافته، هر کاربر رادیو شناختگر، داده‌های حسگری خود را با داده‌های حسگری دریافتی از کاربران دیگر، ترکیب می‌کند و بر اساس یک معیار محلی در مورد حضور کاربر اولیه تصمیم‌گیری می‌کند، اگر نتیجه رضایت بخش نبود، کاربران رادیو شناختگر نتایج ترکیبی خود را دوباره به کاربران دیگر ارسال می‌کنند و این فرایند تکرار می‌شود تا زمانی که الگوریتم همگرا شود و یک تصمیم واحد گرفته شود. این روش ممکن است چندین تکرار را تا رسیدن به اتفاق آرا در تصمیم همکارانه داشته باشد. در روش حسگری طیف همکارانه تقویت کننده، برخی از کاربران می‌توانند به عنوان رله و برای کمک به ارسال نتایج حسگری کاربران دیگر به FC به کار گرفته شوند. بنابراین در این روش، کاربران می‌توانند به منظور بهبود عملکرد حسگری همکارانه با یکدیگر همکاری و همدیگر را کامل کنند.

استفاده از آنتن‌های چندگانه باعث ایجاد کانال‌های متفاوتی بین فرستنده و گیرنده خواهد شد به گونه‌ای که سیگنال ارسالی بر روی این کانال‌ها دچار فیدهای متفاوتی می‌شوند و احتمال اینکه این سیگنال‌ها هم‌زمان محو شوند کاهش می‌یابد، که این ویژگی چندگانگی نام دارد. همچنین استفاده از آنتن‌های چندگانه سبب خواهد شد که فرستنده در یک لحظه بتواند چندین بیت اطلاعات را به‌طور هم‌زمان ارسال نماید و گیرنده نیز تحت شرایط مناسب قادر خواهد بود به‌طور هم‌زمان چندین بیت را آشکار نماید، که این ویژگی باعث افزایش درجه آزادی سیستم و در نتیجه افزایش ظرفیت سیستم می‌شود. بنابراین، کانال انتشار رادیوی در این سیستم‌ها، ویژگی‌های مهمی را از قبیل: بهره‌ی چندگانگی، افزایش انعطاف‌پذیری شبکه، افزایش بهره توان به‌وسیله شکل دادن به پرتو ارسالی، افزایش درجه آزادی و افزایش ظرفیت فراهم آورده است (هریهاران و همکاران، ۲۰۱۳: ص ۱۳۳-۱۳۶)، (گسبرت و همکاران، ۲۰۰۳: ص ۲۸۱-۳۰۲). با توجه به مزایای بیان شده درباره سیستم‌های چند آنتنه، در این مقاله روش‌های مبتنی بر SIMO غیر همکارانه و SIMO همکارانه با استفاده از انواع روش‌های آشکارسازی انرژی، بررسی و نحوه عملکرد هر کدام به صورت جداگانه بررسی می‌گردد.

۲- SIMO غیر همکارانه

در این بخش انواع روش‌های آشکارساز انرژی برای سیستم‌های SIMO در حالت غیر همکارانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش‌های مورد بحث در این قسمت بر اساس آشکارساز انرژی بوده که با استفاده از طرح‌های مختلف برای یک کاربر ثانویه با چندین آنتن دریافتی، به بهبود

عملکرد سیستم رادیو شناختگر منجر خواهد شد. هدف در این بخش آشنایی و مقایسه طرح‌های مطرح شده و معرفی بهترین عملکرد از نظر احتمال آشکارسازی و صرفه اقتصادی می‌باشد.

قبل از بررسی سیستم‌های SIMO در حالت غیر همکارانه، انواع روش‌های آشکارسازی انرژی برای کاربر ثانویه چند آنتنه در روش حسگری غیر همکارانه به اختصار بیان می‌شود. فرض می‌شود فرستنده و گیرنده کاربر اولیه دارای یک آنتن باشند.

۱-۲- ترکیب انتخابی

در روش ترکیب انتخابی (SC) فرض می‌شود که رادیو شناختگر اطلاعات کانال را در اختیار دارد و در نتیجه مسیری با بالاترین بهره کانال را انتخاب و اطلاعات را از آنتن دریافت می‌کند و در ادامه داده‌های دریافتی به آشکارساز انرژی اعمال می‌شود. رادیو شناختگر یک مسیر را انتخاب کرده، که در نهایت همانند یک سیستم SISO عمل می‌کند، به همین دلیل، سطح آستانه، دقیقاً به همان اندازه تنظیم شده برای سیستم‌های SISO باقی می‌ماند (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۰-۲۵) و (دیکم، ۲۰۰۷: ص ۲۱-۲۴). در این روش سیگنال دریافتی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$x_j(t) = s(t)h_j + w(t) \quad j = 1, 2, \dots, N_r \quad (2)$$

که در آن N_r ، تعداد آنتن در سمت گیرنده، $x_j(t)$ سیگنال دریافتی آنتن j ام و h_j بهره کانال برای آنتن j ام با فرض کانال ریلی محو شونده، است.

بنابراین سیگنال دریافتی در آنتن j_{max} به آشکارساز انرژی اعمال می‌شود. شکل (۱) مدل این نوع حسگری را نشان می‌دهد.

$$E_{SC} = \sum_{k=1}^N \left| x_{j_{max}}(k) \right|^2 \quad (4)$$

بر اساس فرضیه H_0 :

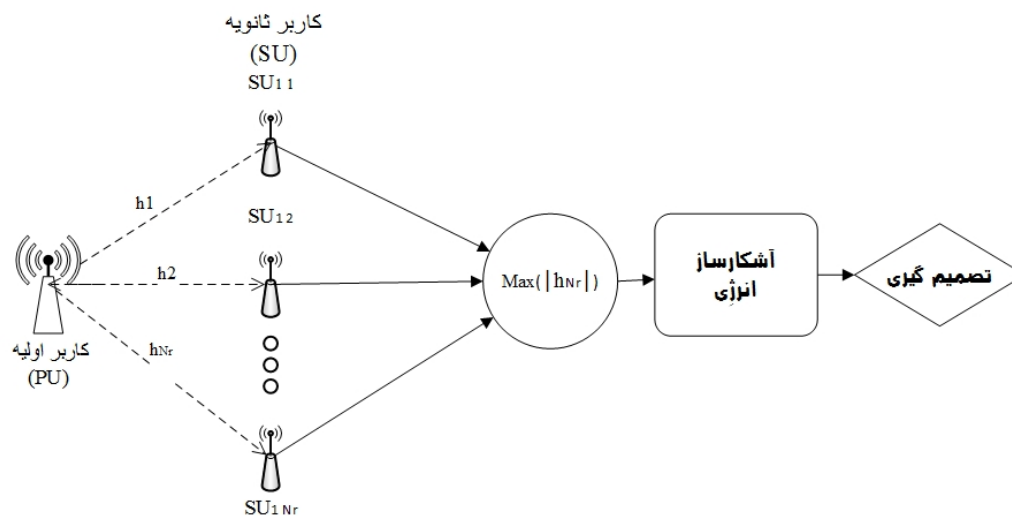
$$E_{SC} = \sum_{k=1}^N \left| w_{j_{max}}(k) \right|^2 \quad (5)$$

که در آن $w_{j_{max}}(k)$ ، نویز سفید گوسی با میانگین صفر و واریانس σ_w^2 همانند سیستم‌های SISO می‌باشد. بنابراین E_{SC} یک توزیع مربع کای مرکزی با N درجه آزادی است و احتمال هشدارهای خطا می‌تواند به صورت معادله (Error! Reference source not found.) بیان شود:

$$P_{FA(SC)} = \frac{\Gamma\left(N/2, \frac{\lambda}{2\sigma_w^2}\right)}{\Gamma(N/2)}$$

برای حالت نویز گوسی مختلط، $w_{j_{max}}(k)$ ، توزیع E_{SC} یک مربع کای با $2N$ درجه آزادی است. از این رو معادله هشدار خطا می‌تواند به صورت معادله نوشته شود: هر چند این روش بسیار امیدوار کننده به نظر می‌رسد، چرا که سطح نویز تغییر نمی‌کند، اما همچنان نیاز به اطلاعات کامل از کانال برای انتخاب مسیری با بالاترین بهره کانال دارد، به همین دلیل این روش راه حل بهینه نمی‌باشد (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۰-۲۵) و (دیکم، ۲۰۰۷: ص ۲۱-۲۴).

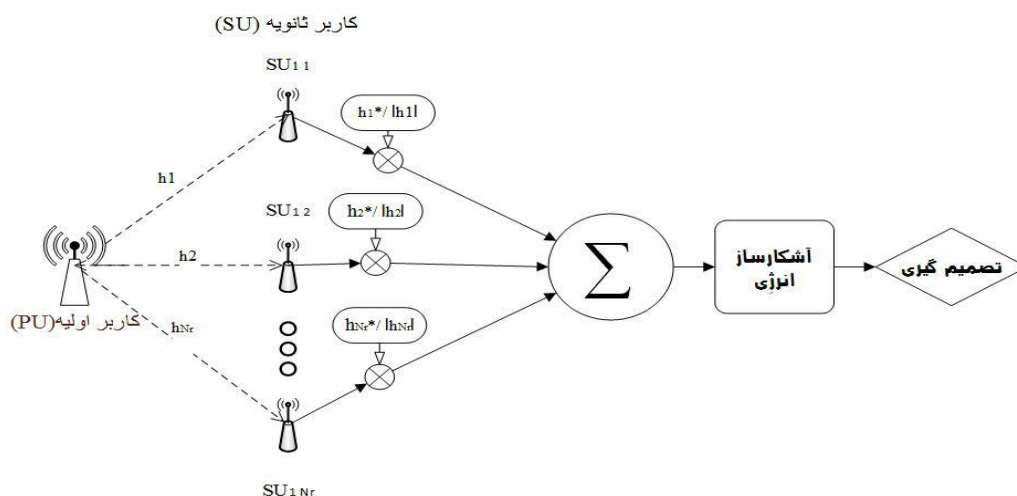
$$P_{FA(SC)}^c = \frac{\Gamma\left(N, \frac{\lambda}{2\sigma_w^2}\right)}{\Gamma(N)}$$



شکل ۱ - مدل ترکیب انتخابی

۲-۲ - ترکیب با بهره برابر

یکی دیگر از روش‌های چند آنتنه برای حسگری طیف، ترکیب با بهره برابر (EGC) است. شکل (۲) مدل این نوع آشکارساز را نشان می‌دهد. به منظور بهبود عملکرد نرخ خطای بیت، داده‌ها به وسیله ضرب در مزدوج کانال تقسیم بر اندازه کانال نرمالیزه می‌شوند، که این نشان دهنده یک آشکارساز انرژی معمولی می‌باشد. معادله EGC را می‌توان به صورت معادله به دست آورد (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۰-۲۵) و (حمزا و همکاران، ۲۰۱۴: ص ۴۳۴۴-۴۳۴۵):



شکل ۲ - مدل ترکیب با بهره برابر

$$E_{EGC} = \sum_{k=1}^N \left| \left(\sum_{j=1}^{N_r} x_j(k) \cdot h_j^* / |h_j| \right) \right|^2 \quad (8)$$

بنابراین احتمال هشدار خطا به صورت (۹) حاصل می‌گردد (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۵-۲۰) و (حمزا و همکاران، ۲۰۱۴: ص ۴۳۴۴-۴۳۴۵):

$$P_{FA(EGC)} = \frac{\Gamma(N/2, \frac{\lambda}{2 \sum_{j=1}^N r (h_j^{*2} / |h_j|^2) \sigma_w^2})}{\Gamma(N/2)} \quad (9)$$

و برای حالت نویز گوسی مختلط نیز رابطه (۱) حاصل می‌شود (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۰-۲۵) و (حمزا و همکاران، ۲۰۱۴: ص ۴۳۴-۴۳۵):

:

$$P_{FA(EGC)}^c = \frac{\Gamma(N, \frac{\lambda}{2 \sum_{j=1}^N r (h_j^{*2} / |h_j|^2) \sigma_w^2})}{\Gamma(N)} \quad (10)$$

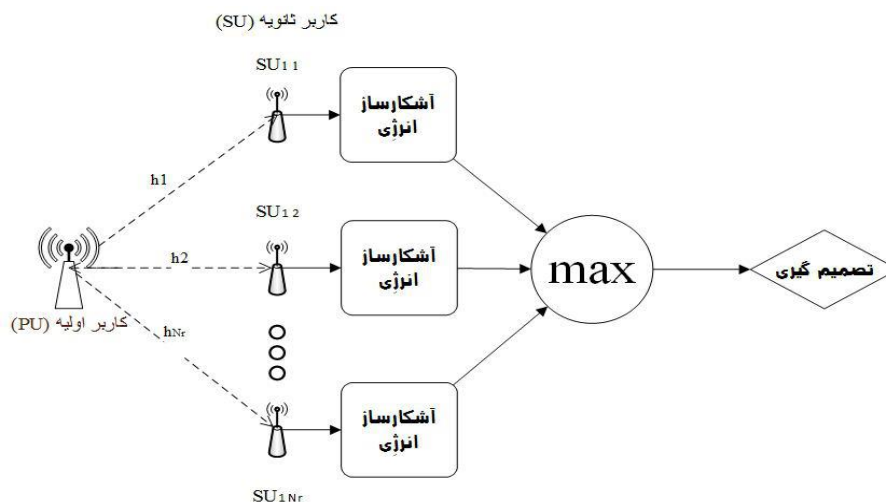
در نتیجه، در EGC بهره چندگانه انتظار می‌رود، ولی این روش نیز به دلیل نیاز داشتن به دانش کامل کانال نمی‌تواند یک راه حل بهینه باشد.

۲-۳- قانون مربع انتخابی

در روش قانون مربع انتخابی (SLS)، هر آشکارساز انرژی داده‌ها را از آنتن گرفته، سپس رادیوشناختگر آن‌ها را جمع‌آوری کرده و شاخه‌ای با حداکثر انرژی را انتخاب می‌کند، سپس آن را با آستانه مقایسه کرده و تصمیم نهایی مبنی بر حضور یا عدم حضور کاربر اولیه را اتخاذ می‌کند. مدل این سیستم در شکل (۳) نمایش داده شده است. معادلات روش قانون مربع انتخابی را می‌توان به شرح زیر به دست آورد (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۰-۲۵) و (دیکم، ۲۰۰۷: ص ۲۱-۲۴).

$$E_j = \sum_{k=1}^N |x_j(k)|^2 \quad j=1, \dots, N_r \quad (11)$$

$$E_{SLS} = \max_j E_j \quad k = 1, 2, \dots, N \text{ و } j = 1, 2, \dots, N_r \quad (12)$$



شکل (۳)- مدل قانون مربع انتخابی

بنابراین در یک مجموعه با داشتن Nr عنصر، احتمال هشدار خطا برای این طرح به صورت معادله (۱۳) مشخص می‌شود (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۰-۲۵) و (دیکم، ۲۰۰۷: ص ۲۱-۲۴).

$$P_{FA(SLS)} = 1 - \left[1 - \frac{\Gamma\left(N/2, \frac{\lambda}{2\sigma_w^2}\right)}{\Gamma(N/2)} \right]^{Nr} \quad (13)$$

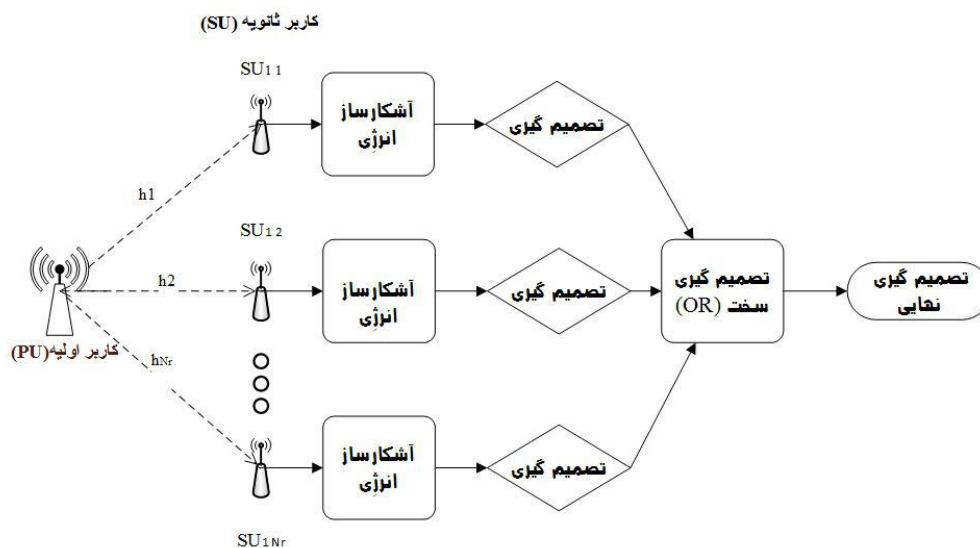
برای حالتی که $w(k)$ گوسی مختلط است، $P_{FA(SLS)}$ را می‌توان به صورت معادله (۱۴) در نظر گرفت:

$$P_{FA(SLC)}^c = 1 - \left[1 - \frac{\Gamma\left(N, \frac{\lambda}{2\sigma_w^2}\right)}{\Gamma(N)} \right]^{Nr} \quad (14)$$

در این روش، سطح آستانه به اطلاعات کانال وابستگی نداشته و تنظیم آن به سادگی انجام می‌پذیرد. ولی از سوی دیگر، نیازمند چندین آشکارساز انرژی است که منجر به افزایش هزینه‌های اجرایی می‌شود (یوستاک، ۲۰۱۰)، (ستار و همکاران، ۲۰۱۲: ص ۲۰-۲۵) و (دیکم، ۲۰۰۷: ص ۲۱-۲۴).

۲-۴- تصمیم‌گیری سخت مشترک

به منظور بهبود عملکرد حسگری طیف، برخی همکاری میان آنتن‌ها را ارائه کرده‌اند. در این روش، هر آنتن یک آشکارساز مجزا دارد و به صورت مستقل تصمیم‌گیری می‌کند و سپس تصمیم‌ها را با توجه به جدول منطقی ترکیب و یک تصمیم نهایی را اتخاذ می‌کند. در این روش همکاری با استفاده از جدول OR می‌باشد که در این حالت، اگر حداقل یکی از آشکارسازها تصمیمی مبنی بر حضور کاربر اولیه بگیرد، تصمیم نهایی نیز به همین صورت خواهد بود (یوستاک، ۲۰۱۰). شکل (۴) مدل تصمیم‌گیری سخت مشترک را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مدل تصمیم‌گیری سخت مشترک

۲- SIMO با ترکیب سخت همکارانه

در این قسمت، روش SIMO غیر همکارانه توسط روش همکارانه با ترکیب سخت بسط داده می‌شود و نحوه عملکرد آن بررسی می‌گردد. قبل از بیان مدل این نوع سیستم، ترکیب سخت همکارانه مورد استفاده در این روش ارائه و مجموعه قوانین کاربردی این روش توضیح داده می‌شود.

۱-۲- ترکیب سخت همکارانه

در این روش هر کاربر رادیوشناختگر، تصمیم خود را مبنی بر حضور یا عدم حضور کاربر اولیه اتخاذ و به صورت تصمیم باینری (۱،۰) به FC ارسال می‌کند. برای ساده سازی، کانال بین کاربر ثانویه و FC کانال ایده‌آل (بدون نویز) در نظر گرفته می‌شود. با فرض استقلال تصمیم‌ها از یکدیگر، FC با استفاده از قوانین ترکیب سخت اقدام به تصمیم‌گیری نهایی می‌کند.

۱-۱-۲- قانون AND منطقی

در این روش اگر تصمیم تمامی کاربران مبنی بر حضور کاربر اولیه باشد، در نتیجه FC تصمیم نهایی حضور کاربر اولیه را اعلام کرده و آن را به تمامی کاربران رادیو شناختگر اطلاع می‌دهد. اگر تصمیم تمامی کاربران ثانویه با I نشان داده شود، در این حالت، $\Lambda = \prod_{i=1}^M I_i$ که اگر $\Lambda = 1$ باشد، در این حالت FC حضور کاربر اولیه را اعلام می‌کند و در صورتی که $\Lambda = 0$ ، FC تصمیم به عدم حضور کاربر اولیه می‌گیرد (حسین و همکاران، ۲۰۱۳: ص ۱). احتمالات هشدار خطا و آشکارسازی در این حالت عبارتند از:

$$P_{FA,AND} = \prod_{i=1}^M p_{FA}^{(i)} \quad (15)$$

$$P_{d,AND} = \prod_{i=1}^M P_d^{(i)} \quad (16)$$

۲-۱-۲- قانون OR منطقی

در این روش اگر تمامی کاربران تصمیم به عدم حضور کاربر اولیه بگیرند، FC نیز این تصمیم را به تمامی کاربران ثانویه مخابره می‌کند. اگر تصمیم تمامی کاربران ثانویه با I نمایش داده شود، در این حالت $\Lambda = \prod_{i=1}^M I_i$ که اگر $\Lambda \geq 1$ باشد در این حالت FC حضور کاربر اولیه را اعلام می‌کند و در صورتی که $\Lambda = 0$ ، FC تصمیم به عدم حضور کاربر اولیه می‌گیرد (حسین و همکاران، ۲۰۱۳: ص ۱).

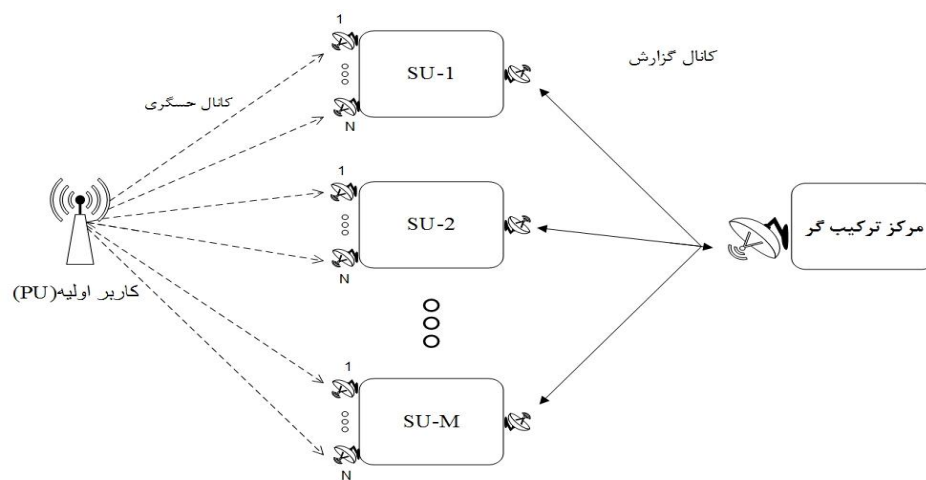
۲-۱-۳- قانون اکثریت

در این روش اگر تعداد بیشتر کاربران ثانویه، بر حضور کاربر اولیه اتفاق نظر داشته باشند، در این حالت FC تصمیم بر حضور کاربر اولیه می‌گیرد و در غیر این حالت عدم حضور کاربر اولیه را اعلام می‌کند. در این حالت، اگر تصمیم تمامی کاربران ثانویه با I نمایش داده شود، $\Lambda = \prod_{i=1}^M I_i$ که اگر $\Lambda \geq \left\lceil \frac{M}{2} \right\rceil$ باشد، FC حضور کاربر اولیه را اعلام می‌کند و در صورتی که $\Lambda < \left\lceil \frac{M}{2} \right\rceil$ ، FC تصمیم به عدم حضور کاربر اولیه می‌گیرد (حسین و همکاران، ۲۰۱۳: ص ۱) و در نتیجه:

$$P_{FA,OR} = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - p_{FA}^{(i)}) \quad (17)$$

$$P_{d,OR} = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - P_d^{(i)}) \quad (18)$$

فرض می‌شود کاربران اولیه تک آنتنه و کاربران رادیو شناختگر دارای N آنتن گیرنده باشند که در این حالت هر کاربر ثانویه بر اساس روش‌های بیان شده به صورت مستقل، درباره حضور یا عدم حضور کاربر اولیه تصمیم‌گیری کرده و نتایج حاصل از تصمیم‌گیری خود را به FC ارسال می‌کند. داده‌های باینری دریافت شده در FC توسط روش‌های ترکیب سخت با هم ترکیب شده و تصمیم نهایی مبنی بر حضور یا عدم حضور کاربر اولیه به کاربران ثانویه ارسال می‌شود. از روش‌های تصمیم‌گیری که توسط کاربران ثانویه استفاده می‌شود، می‌توان روش ترکیب با بهره برابر، ترکیب انتخابی، قانون انتخاب مربع و تکنیک ترکیب سخت را نام برد. از روش‌های ترکیب داده در FC نیز می‌توان روش‌های ترکیب سخت AND، OR و اکثریت را نام برد. شکل (۵) مدل سیستم را در این حالت نشان می‌دهد.



شکل ۵ - SIMO در حالت همکارانه

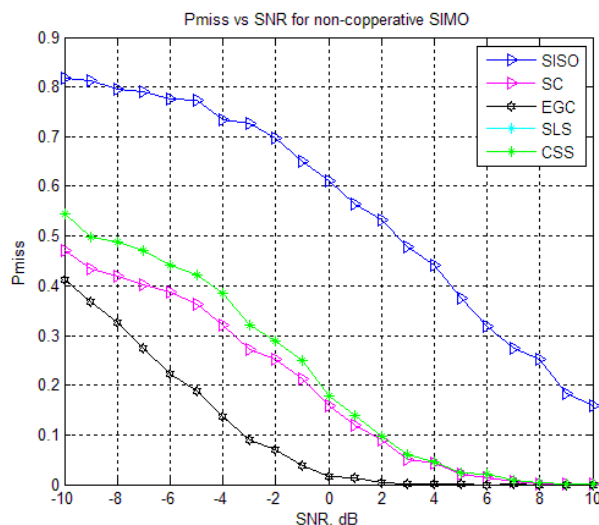
۳- نتایج شبیه‌سازی

۳-۱- نتایج شبیه‌سازی برای حالت SIMO غیر همکارانه

تعداد نمونه‌ها، $N=10$ ، و به صورت یکنواخت فرض می‌شود. نویز با توجه به تابع تبدیل گوسی، به صورت مختلط با واریانس یک و متوسط صفر تولید می‌شود. کانال دارای Pdf ریلی و تشخیص انرژی در حوزه زمان انجام می‌شود. تعداد آنتن مورد استفاده در رادیو شناختگر، $N_r=4$ ، فرض شده است.

سطح آستانه به منظور دستیابی به $P_{FA} = 0.01$ تنظیم می‌شود و سپس شبیه‌سازی بررسی می‌شود. شکل (۶)، P_{miss} را بر حسب SNR نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که بهترین عملکرد برای EGC به دست می‌آید، چون سطح آستانه با اطلاعات کانال تغییر می‌کند که نیازمند دانش کامل کانال است ولی پیچیدگی محاسباتی بالایی دارد. در مواردی که اطلاعات کانال موجود است ولی نیاز به محاسبات کمتری می‌باشد، بهتر است از طرح SC استفاده شود. در جاهایی که اطلاعات کانال را در دسترس نیست، SLS و ترکیب سخت OR نتایج قابل توجهی دارد و چون روابط احتمال هشدار خطا در این دو طرح یکی است نمودارهایشان شبیه به هم خواهد بود ولی در طرح CSS چون هر کانال علاوه بر آشکارسازی باید تصمیم‌گیری نیز انجام دهد، پیچیدگی محاسباتش از طرح SLS بیشتر است، پس می‌توان گفت طرح SLS در نبود اطلاعات کانال بهتر است. نتیجه دیگری که از این نمودار می‌توان گرفت اینست که، با افزایش تعداد آنتن‌ها در گیرنده عملکرد سیستم بهبود میابد.

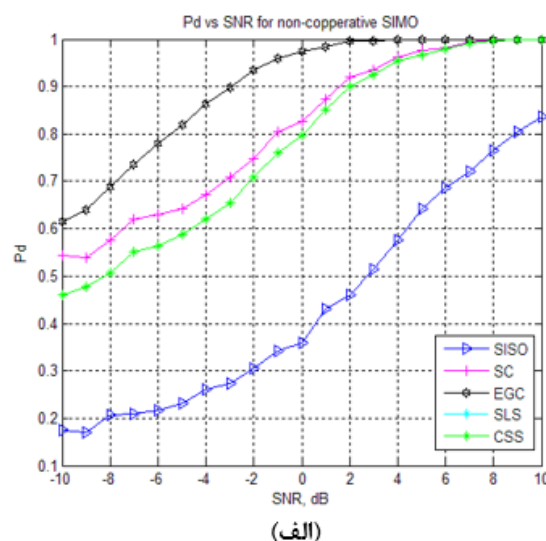
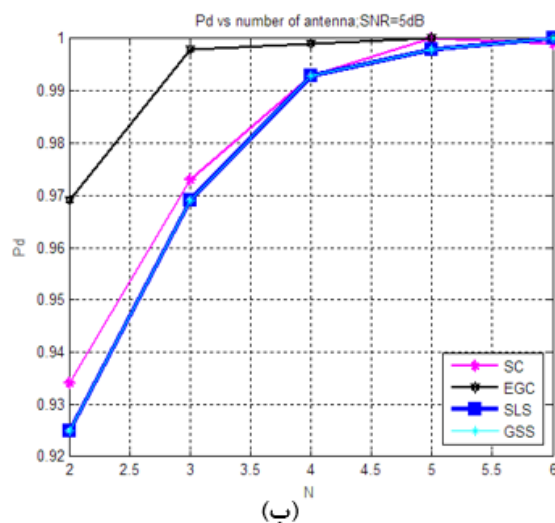
در احتمال آشکارسازی بر حسب SNR داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، EGC و SC بهترین عملکرد را دارند. با توجه به این واقعیت که EGC سطح آستانه ثابت ندارد، در حالی که SC سطح آستانه ثابت دارد، می‌توان گفت، به کارگیری SC به دلیل پیچیدگی کمتر محاسبات، منطقی‌تر است.



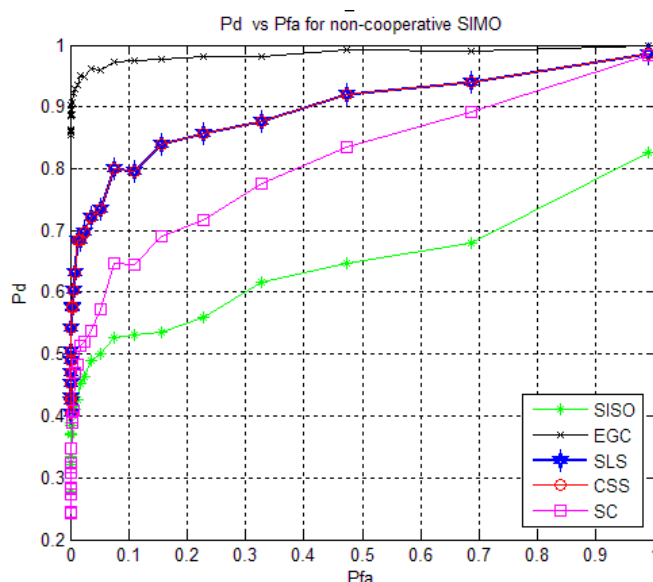
شکل (۶)، P_{miss} را بر حسب SNR در طرح SIMO غیرهمکارانه

همان‌طور که دیده می‌شود احتمال آشکارسازی با تعداد آنتن افزایش می‌یابد و مشاهده می‌گردد که با افزایش آنتن‌ها به پنج آنتن بالاتر، تقریباً نتایج به حالت بهینه EGC نزدیک می‌شود و همگرا می‌شوند.

منحنی مشخصه این طرح نیز مطابق شکل ۸- نشان‌دهنده عملکرد بهینه EGC نسبت به سایر طرح‌ها می‌باشد. در این حالت $SNR=1$ و مشخصات کانال شبیه حالت‌های قبل فرض می‌شود. همان‌طور که مشخص است در حالت EGC آشکارسازی در احتمال هشدار خطا پایین، بهتر عمل می‌کند.



شکل ۷- (الف) احتمال آشکارسازی بر حسب SNR در طرح SIMO غیرهمکارانه (ب) احتمال آشکارسازی بر حسب تعداد آنتن در SIMO غیرهمکارانه



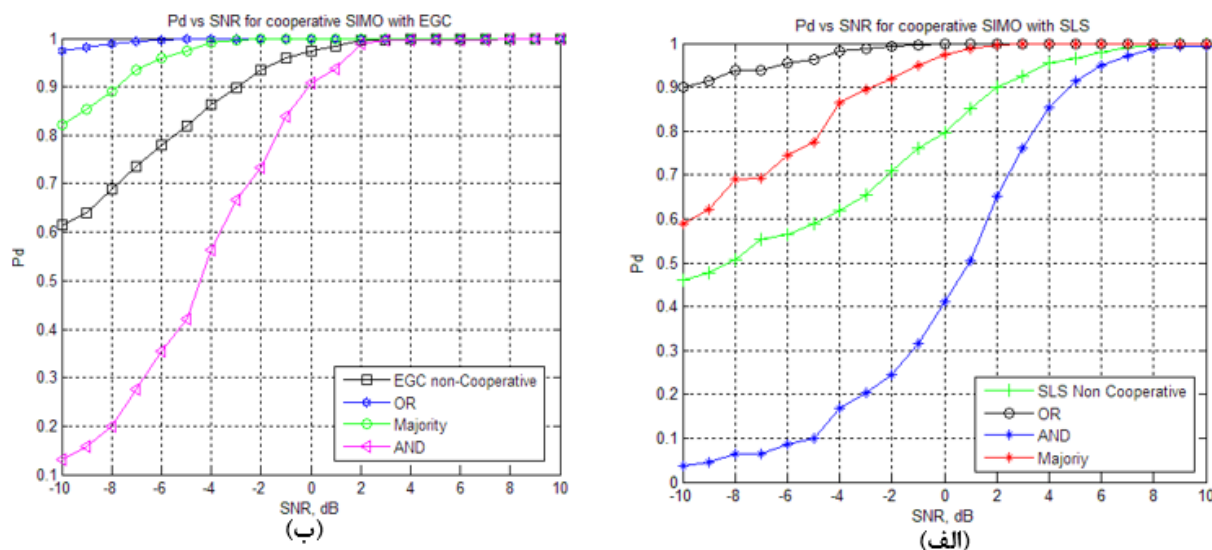
شکل ۸- احتمال آشکارسازی بر حسب احتمال هشدار خطا در SIMO غیرهمکارانه

۳-۲- نتایج شبیه‌سازی طرح SIMO همکارانه

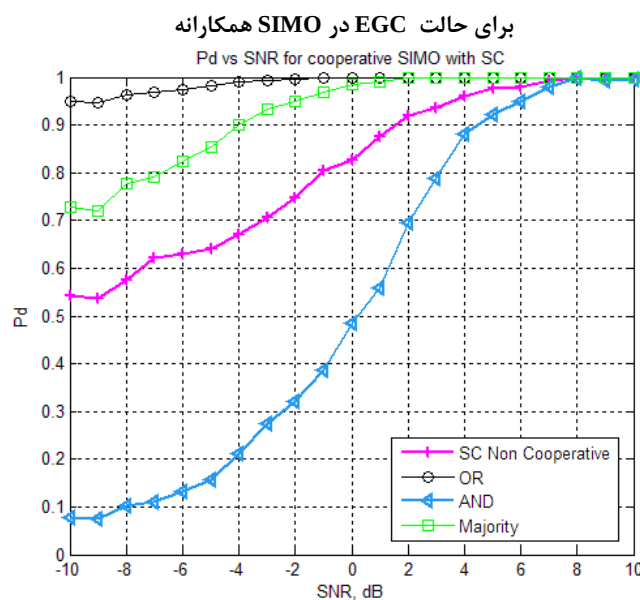
در حالت همکارانه، احتمال آشکارسازی بر حسب SNR، برای حالتی که کاربر ثانویه از روش‌های CSS و SLS برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند، در چهار حالت بدون همکارانه که تعداد کاربران یک می‌باشد و در حالت بکارگیری از تکنیک AND، OR و اکثریت در شکل (۹-الف) بدست آمده است. در حالت‌های ترکیب همکارانه سخت تعداد کاربران ثانویه ۴ و سایر مشخصات کانال مشابه حالت غیرهمکارانه می‌باشد. مشاهده می‌شود که ساختار مبتنی بر OR، بهترین عملکرد و AND پایین‌ترین عملکرد، که حتی پایین‌تر از حالت غیر همکارانه نیز می‌باشد را به نمایش می‌گذارد.

در شکل (۹-ب)، برای کاربران رادیو شناختگر که با استفاده از تکنیک EGC تصمیم‌گیری می‌کنند برای چهار حالت همکارانه ترکیب سخت بررسی می‌شود. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که عملکرد OR، بهتر از سایر طرح‌ها احتمال آشکارسازی را افزایش داده و همچنان AND پایین‌ترین عملکرد دارا می‌باشد. در شکل، برای کاربران رادیو شناختگر که با استفاده از تکنیک SC تصمیم‌گیری می‌کنند برای

چهار حالت همکارانه با ترکیب سخت مطرح شده بررسی می‌شود. عملکرد OR، بهتر از سایر طرح‌ها احتمال آشکارسازی را افزایش می‌دهد. و عملکرد AND پایین‌ترین عملکرد را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۹- الف - احتمال آشکارسازی بر حسب SNR برای حالت CSS, SLS در SIMO همکارانه (ب) احتمال آشکارسازی بر حسب SNR



شکل ۱۰- احتمال آشکارسازی بر حسب SNR برای حالت SC در SIMO همکارانه

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، آشکارسازی انرژی به منظور حسگری طیفی با استفاده از بهره حاصل از چندگانگی سیستم‌های چند آنتنه برای کاربران ثانویه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج شبیه‌سازی می‌توان به این نتیجه رسید که کاربران ثانویه چه کاربران همکارانه و چه غیر همکارانه با بهره بردن از چندگانگی حاصل از چند آنتنه بودن کاربران ثانویه می‌توانند عملکرد بهره‌وری طیفی خود را بهبود دهند. با مطالعه بر روی روش‌های چند آنتنه غیر همکارانه که کاربر ثانویه از چندین آنتن گیرنده به منظور حسگری بهره می‌برد، مشاهده شد که برای ارتقای احتمال آشکارسازی از روش‌های ترکیب سخت همکارانه استفاده شود. همچنین نتایج شبیه‌سازی در ترکیب سخت نشان داد که، OR بالاترین سطح آشکارسازی را دارا می‌باشد، چون اگر یک کاربر ثانویه حضور کاربر اولیه را اعلام کند نظر بقیه کاربرها بی‌اهمیت می‌شود پس بالاترین سطح آشکارسازی را دارد. ولی در ترکیب سخت AND، تمام کاربران ثانویه باید حضور کاربر اولیه را اعلام کنند به این دلیل سطح آشکارسازی در پایین‌ترین سطح است.

مراجع

1. Abdulsattar . M. A. and Hussein, Z. A. (2012). New Multiple Antennas Method based Energy Detector for Cognitive Radio over Fading Channels, International Journal of Computer Applications, vol. 52, pp. 20-25.
2. Akyildiz, I. F., Lo, B. F. and Balakrishnan, R. (2011). Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey, Physical communication, vol. 4, pp. 40-62.
3. Atapattu, S., Tellambura, C. and Jiang, H. (2011). Energy detection based cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks, Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. 10, pp. 1232-1241.
4. Digham, F. F., Alouini, M.S. and Simon, M. K. (2007). On the energy detection of unknown signals over fading channels, in Communications, IEEE transactions on communications, vol. 55, pp. 21-24.
5. Ganesan, G. and Li, Y. (2005). Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks, in New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN First IEEE.
6. Gesbert, D., Shafi, M. D., Shiu, S., Smith, P. J. and Nguib, A. (2003). From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems, Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. 21, pp. 281-302.
7. Hamza, D., Aissa, S. and Aniba, G. (2014). Equal gain combining for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks, Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. 13, pp. 4334-4345.
8. Hariharan, S., Venkata S. P., and Muthuchidam, P. (2013). Average detection probability analysis for cooperative-MIMO spectrum sensing in cognitive radio networks, in Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), International Conference on, pp. 133-136.
9. Haykin, S. (2005). Cognitive radio: brain-empowered wireless communications, Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. 23, pp. 201-220.
10. Hossain, M. S., Abdullah, M. I. and Hossain, M. A. (2013). Hard Decision Based Cooperative Spectrum Sensing over Different Fading Channel in Cognitive Radio, International Journal of Advance Innovations, Thoughts & Ideas, vol. 2, pp. 1.
11. Rathi, S., Dua, R. L. and Singh, P. (2011). Spectrum sensing in cognitive radio using MIMO technique, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), vol. 1, pp. 259-265.
12. Üstök, R. F. (2010). Spectrum sensing techniques for cognitive radio systems with multiple antennas.
13. Yüce, T. and Arslan, H. (2009). A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications, Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 11, pp. 116-130.

Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems using Multiple Antennas

Seyed Ali Akbar Hashemian¹, Hamid Farrokhi², Mohammad Sadeghian Kerdabadi^{3,*}, Reza Ghazizadeh⁴

1. M.Sc. Student, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
Email: Alihashemian@birjand.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. Email: Hfarrokhi@birjand.ac.ir
3. Ph. D. Student, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
Email: Mohammad.sadeghian@birjand.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. Email: Rghazizade@birjand.ac.ir

Abstract

Cognitive radio as a useful way to deal with the problem of limited frequency spectrum in the wireless network is provided. In this technology, dynamic access to the spectrum is possible. Spectrum sensing, as the most fundamental part of a cognitive radio, means that in addition to avoiding interference to licensed users, by detecting spectral holes, efficient use of bandwidth also increases. However, detection performance due to issues such as shadowing, multipath fading and uncertainty receiver faces problems. In order to overcome this problem, cooperative spectrum sensing can be used with spatial diversity. If the primary and secondary users are also equipped with multiple antennas, in addition to increasing system reliability, multipath problem turns into an advantage. In this paper, spectrum sensing using energy detection method in two cooperative and non-cooperative multi-antenna system is investigated. Also, using computer simulations, the effect of multi-antenna techniques to improve the probability of detection is studied.

Key words: cognitive radio, cooperative spectrum sensing, multiple antenna, energy detection.

بررسی و مقایسه تکنیک های مبتنی بر منطق فازی جهت بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم

ابراهیم یارعلی^{۱*}، مهدی صادق زاده^۲.

آدرس پست الکترونیک نویسنده اول ebi.yarali@gmail.com

آدرس پست الکترونیک نویسنده دوم sadegh_1999@yahoo.com

چکیده

شبکه های حسگر بی سیم، نسل جدیدی از سیستم های تعبیه شده بلادرنگ با محدودیت محاسباتی، انرژی و حافظه هستند که دارای کاربردهای متنوعی، بخصوص در مواردی که استفاده از شبکه های سنتی امکان پذیر نیست می باشند. از آنجایی که در این شبکه ها، مساله انرژی یک چالش مهم محسوب میگردد، در این مقاله ما به بررسی و مقایسه سه مقاله پرداختیم که در هر سه مورد از تکنیک های مبتنی بر سیستم منطق فازی برای انتخاب ریشه و سرخوشه ها برای بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم استفاده شده است. نتایج مقایسه ها نشان می دهد که استفاده از سیستم منطق فازی در انتخاب ریشه و سرخوشه ها نقش بسزایی در بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه های حسگر بیسیم دارد. **واژگان کلیدی:** شبکه های حسگر بی سیم، منطق فازی، بهینه سازی مصرف انرژی، طول عمر و خوشه بندی.

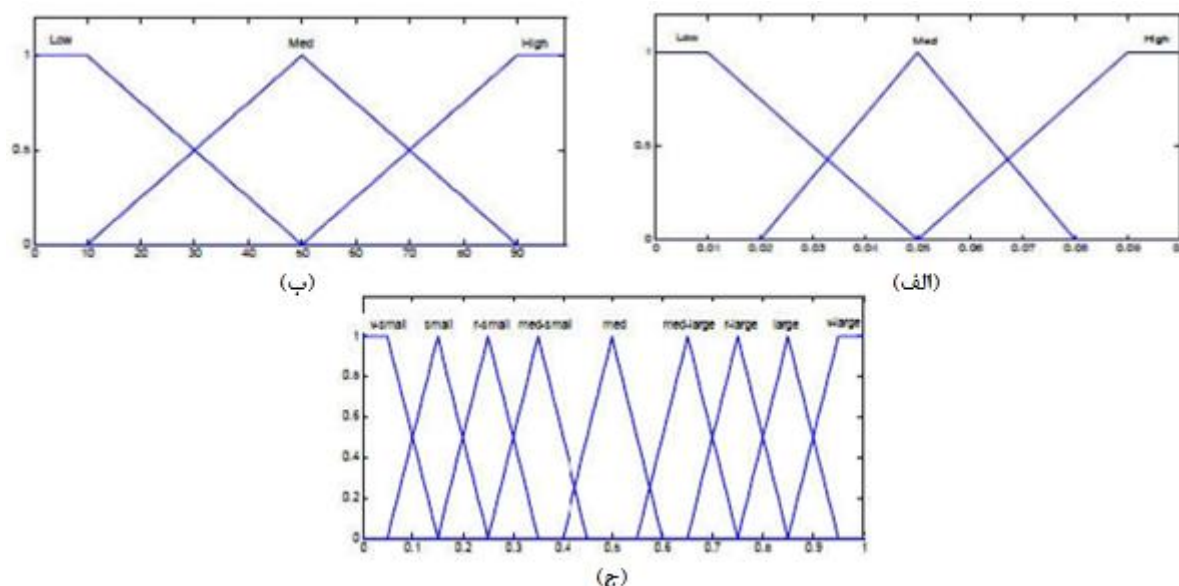
۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم از صدها یا هزاران گره تشکیل شده است که به صورت تصادفی در مناطق دوردست یا مناطق خطرناک پخش شده اند. وظیفه اصلی این گره ها جمع آوری اطلاعات از محیطی است که در آن قرار می گیرند در واقع این گره ها توانایی جمع آوری اطلاعات از این مناطق را دارند که از راههای دیگر بدست آوردن این اطلاعات امکان پذیر نیست. هرگره حسگر شامل یک واحد حسگری، یک واحد محاسباتی، حافظه و واحد ارتباط بی سیم با برد ارتباطی محدود است. وظیفه اصلی شبکه های حسگر جمع آوری اطلاعات از محیطی است که در آن قرار می گیرند. انتقال مستقیم اطلاعات از منابع داده به گره مرکزی، هزینه بر و تقریباً غیرممکن است، زیرا گره مرکزی معمولاً دورتر از منابع داده قرار دارد و گره های حسگر منبع انرژی محدودی دارند. از این رو معمولاً از مسیرهای چندگانه برای مسیریابی استفاده می شود. در شبکه های خوشه ای گره ها یا به عنوان عضو و یا به عنوان ریشه تعریف شده اند. در حالی که گره های عضو مسئول ارسال داده های حس شده خود به گره ریشه هستند، گره ریشه مسئول جمع آوری، پردازش و ارسال این داده ها به ایستگاه پایه است. به دلیل نقش گره ریشه مصرف انرژی در گره های ریشه بسیار بیشتر از گره های عضو می باشد. وقتی یک ریشه انرژی خود را مصرف می کند اطلاعات حس شده توسط گره های عضو نمی تواند پردازش شود. در نتیجه غیرقابل استفاده می شود.

۲- روش اول

در این روش ابتدا سرخوشه ها به کمک سیستم منطق فازی انتخاب شده و خوشه ها ایجاد میگردند و سپس با توجه به سرخوشه های انتخاب شده، موقعیت بهینه ایستگاه اصلی که باعث مینیمم سازی مصرف انرژی سرخوشه ها میگردد، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین می

گردد. در ابتدا برای هر حسگر توسط منطق فازی یک درجه شایستگی برای سرخوشه شدن محاسبه می شود. پارامترهای ورودی سیستم فازی دو پارامتر انرژی باقیمانده حسگر و تعداد همسایه های حسگر میباشد. علت استفاده از پارامتر انرژی حسگر این است که در روشهای خوشه بندی بیشتر بار شبکه بر روی سرخوشه ها می باشد، بنابراین این گره ها باید نسبت به سایر حسگرها انرژی بیشتری داشته باشند. همچنین هر چه تعداد همسایه های حسگر بیشتر باشد، شایستگی حسگر برای سرخوشه شدن بیشتر است زیرا این امر باعث کاهش مجموع فاصله حسگرها تا سرخوشه شده و در نتیجه باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می گردد. روش محاسبه تعداد حسگرهای همسایه نیز بدین صورت است که هر حسگر در ابتدای شروع کار شبکه پیام ADV خود را در شعاعی مشخص برای گره های همسایه ارسال می کند، بدین ترتیب هر حسگر با توجه به انرژی سیگنال دریافتی، تعداد همسایه های خود را محاسبه می نماید. پیام ADV پیامی جهت معرفی حسگر در شبکه می باشد. توابع عضویت پارامترهای ورودی سیستم فازی در قسمت های (الف) و (ب) و پارامتر خروجی در قسمت (ج) شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱ - (الف) : توابع عضویت پارامتر انرژی، (ب) توابع عضویت پارامتر تعداد همسایه ها، (ج) توابع عضویت پارامتر شایستگی حسگرها جهت سرخوشه شدن [2].

همانطور که می دانیم، کنترل فازی شامل فازی ساز، قوانین فازی، موتور استنتاج فازی و غیرفازی سازی می باشد. در این روش از موتور استنتاج ممدانی و غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. قوانین اگر- آنگاه فازی نیز در جدول 1 آمده است. پس از اختصاص درجه شایستگی به هر حسگر که مقداری بین صفر و یک است، مساله ای که مطرح میشود این است که کدامیک از حسگرها به عنوان سرخوشه انتخاب شوند. در این روش از روش مبتنی بر زمان برای انتخاب سرخوشه ها استفاده می شود. بدین صورت که هر حسگر به اندازه Wt که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود صبر کرده و در صورتی که پیام ADV ای از گره سرخوشه دیگری با فاصله d دریافت نکرده باشد، خود را به عنوان سرخوشه در شعاع d معرفی می کند.

$$Wt = \frac{t}{SD} \quad (1)$$

در این رابطه t_0 مقداری ثابت می باشد و با توجه به شرایط سخت افزاری مدار حسگر و الگوریتم کنترل دسترسی به رسانه مشترک تعیین می شود. ε مقدار بسیار کوچکی می باشد که از صفر شدن مخرج کسر جلوگیری می کند.

جدول ۱ قوانین اگر-آنگاه فازی [2].

انرژی	تعداد همسایه ها	درجه شایستگی
Low	Low	Very Small
Low	Medium	Small
Low	High	Rather Small
Medium	Low	Medium Small
Medium	Medium	Medium
Medium	High	Medium Large
High	Low	Rather Large
High	Medium	Large
High	High	Very Large

SD نیز درجه شایستگی هر حسگر بوده که مقدار آن بین صفر و یک می باشد. طبق این رابطه هر چه شایستگی حسگری برای سرخوشه شدن بیشتر باشد Wt مقدار کمتری بدست می آید. با استفاده از این تکنیک گره کاندیدی که میزان شایستگی بالایی نسبت به دیگر گره های همسایه اش در فاصله d داشته باشد، زودتر از دیگر رقبای خود پیام ADV را ارسال کرده و گره های دیگر موجود در این فاصله از ادامه رقابت باز می مانند. با استفاده از این تکنیک زمانبندی، میزان انرژی کمتری نسبت به حالت های مشابه که بر اساس مذاکره بین گره ها صورت می گیرد، مصرف می شود. فاصله d به عنوان پارامتری جهت کنترل تعداد سرخوشه ها و همچنین پارامتری جهت توزیع سرخوشه ها در شبکه می باشد.

۲-۱- ارزیابی روش اول

شبیه سازی با نرم افزار متلب انجام شده و حسگرها به صورت تصادفی در شبکه توزیع شده اند. در شبیه سازی از مدل سیستم و انرژی Heinzelman [۳،۴،۵] استفاده شده است. پارامترهای شبیه سازی نیز در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ پارامترهای شبیه سازی [2].

پارامتر	مقدار
Initial Energy	0.1 J
Data packet	4000 bits
Control packet	32 bits
Maz-step	50m
m(generation)	100
Pc	0.6
Pm	0.05
Number of Sensors	100
Network Size	100×100

در این قسمت به مقایسه روش پیشنهادی با روشهای LEACH [۶]، FSCA [۷]، CHEF [۸]، GUPTA [۹] و ECS [۱۰] از لحاظ طول عمر شبکه، مصرف انرژی شبکه و واریانس انرژی در هر دوره پرداخته شده است.

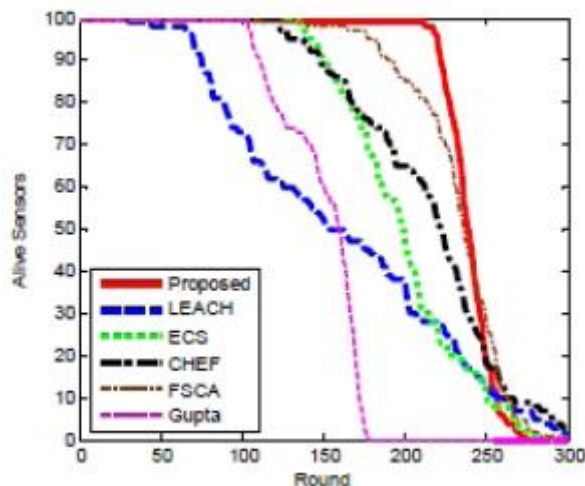
¹ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

² Fuzzy System Clustering Algorithm

³ Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic

۲-۱-۱- طول عمر شبکه

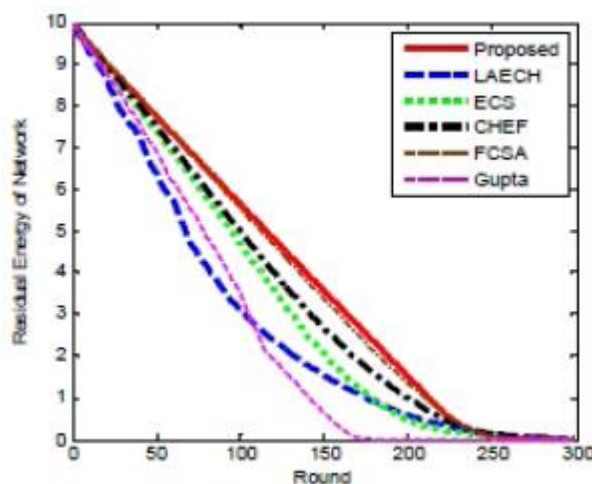
در کاربردهای متفاوت تعاریف مختلفی از زمان عمر شبکه ارائه شده است. در این پژوهش زمان عمر شبکه برابر با مرگ اولین حسگر در نظر گرفته شده است. شکل ۲ این نتایج را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌نماییم مرگ اولین حسگر در شبکه در روش پیشنهادی بسیار دیرتر از سایر روشها رخ داده است. در صورت محاسبه خواهیم دریافت که این روش می‌تواند 40% زمان عمر شبکه را افزایش دهد.



شکل ۲ - مقایسه طول عمر شبکه [2].

۲-۱-۲- مصرف انرژی شبکه

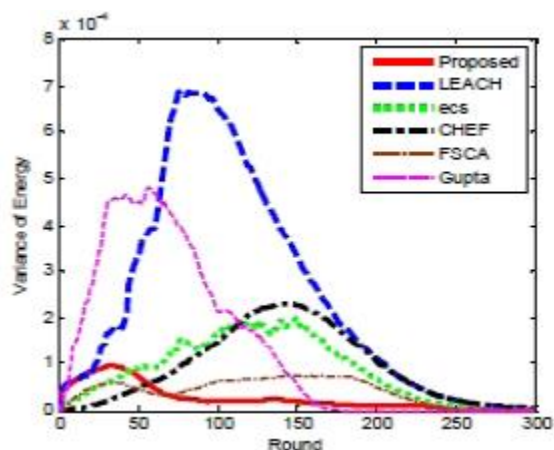
یکی دیگر از پارامترهایی که در شبکه‌های حسگر جهت ارزیابی الگوریتم‌های ارائه شده مورد استفاده قرار می‌گیرد، انرژی باقیمانده شبکه در هر دوره می‌باشد. در این پارامتر عملکرد بهترین الگوریتم متناسب با شیب نمودار می‌باشد به طوری که اگر الگوریتم از لحاظ افزایش طول عمر شبکه در جایگاه مطلوبی قرار نداشته باشد انرژی باقیمانده آن با شیب زیادی به سمت صفر (محور X ها) نزول خواهد کرد. در غیر این صورت با عملکرد محور بهینه، نمودار با شیب کمتری به سمت صفر میل می‌کند. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی عملکرد بسیار مطلوبی نسبت به پنج پروتکل دیگر دارد.



شکل ۳ - مقایسه مصرف انرژی شبکه [2].

۲-۱-۳- واریانس انرژی شبکه

یکی از پارامترهای بسیار مهم دیگر در مسیریابی در شبکه های حسگر بیسیم، مصرف عادلانه انرژی می باشد و مصرف عادلانه انرژی زمانی اتفاق می افتد که واریانس انرژی حسگرها در هر دوره تا حد امکان کم باشد. واریانس انرژی در هر دوره به معنای تغییرات انرژی حسگرها در آن دوره میباشد. در صورتی که تغییرات انرژی بین حسگرها زیاد باشد یعنی انرژی برخی از حسگرها به سرعت در حال تخلیه شدن است و این امر نشان میدهد که مصرف انرژی به صورت عادلانه صورت نمی گیرد. در اینجا ما روش پیشنهادی و پنج روش دیگر را با یکدیگر مقایسه کرده اند. شکل ۴ این نتایج را نشان میدهد. همانطور که مشاهده می نماییم واریانس انرژی در این روش از سایر روشها کمتر بوده و این نشان دهنده بهبود عملکرد این روش از لحاظ مصرف عادلانه انرژی نسبت به سایر روشها می باشد.



شکل ۴ - مقایسه واریانس انرژی شبکه [2]

۳-روش دوم

در پژوهش های گذشته، سرخوشه یا به صورت توزیع شده انتخاب می شد، که در این صورت مصرف انرژی زیاد است، یا به صورت متمرکز انتخاب می شد، که چون یک نود برای کل شبکه تصمیم می گیرد، ترافیک روی این نود زیاد است و اگر این نود دچار مشکل شود کل شبکه در پی آن دچار مشکل می شود. در این رویکرد جهت کاهش دادن محاسبات و همچنین افزایش طول عمر شبکه چند گام موثر در نظر گرفته شده است:

الف- یک مقدار به عنوان حداقل انرژی لازم جهت سرخوشه شدن تعیین می شود تا هر گره ای که انرژی آن از این مقدار آستانه کمتر است برای سرخوشه شدن کاندیدا نشود.

ب- نودی که در نقطه کور افتاده است، یا اینکه تعداد همسایه های آن بسیار کم است کاندیدای سرخوشه نشود، حتی اگر انرژی زیادی داشته باشد.

ج- هر گره برای خود پارامتر شانس را محاسبه می کند و این مقدار مشخص کننده این است که هر گره نسبت به بقیه گره ها از چه میزان شانس برای سرخوشه شدن برخوردار است. به دلیل افزایش طول عمر شبکه اگر دو گره از شانس یکسان برخوردار باشند و در همسایگی هم قرار دارند یکی از آنها در آن دور خاموش شود تا به طول عمر شبکه کمکی شده باشد.

در هر دور گره هایی که واجد شرایط هستند، این الگوریتم را اجرا می کنند و برای هر گره یک مقدار شانس پیدا می شود. در الگوریتم پیشنهادی روش کار به این شکل است که هر گره شانس خود را می داند و ضمناً شانس گره هایی که در همسایگی او نیز قرار دارند هم می داند. حال، هر گره با توجه به این اطلاعات، شانس خودش را با بقیه مقایسه می کند. اگر از همه بزرگتر باشد به عنوان سرخوشه خودش را معرفی میکند و در غیر این صورت، سعی می کند عضو سرخوشه ای شود که کمترین فاصله را با او داشته باشد. گره ای که بعد از مقایسه، خودش را سرخوشه می داند به بقیه اعلام می کند که سرخوشه شده است. پس اکنون، بقیه نودها سعی می کنند عضو خوشه ای شوند که کمترین فاصله را با سرخوشه آن داشته باشند. همانطور که مشخص است الگوریتم به صورت غیرمتمرکز کار می کند و هر گره نیز خودش تصمیم گیرنده است.

در این روش، سرخوشه به صورت غیر متمرکز و بر اساس منطق فازی انتخاب می شود. پارامترهای زیادی وجود دارد که می توان از آنها در انتخاب سرخوشه استفاده کرد، ولی باید دانست که هر چه تعداد پارامترها زیاد شوند به همین نسبت نیز، جدول قوانین دچار افزایش می شود و این باعث افزایش محاسبات و بالطبع افزایش زمان و مصرف انرژی می شود.

در هر دور، هر گره پارامتر شانس خود را با منطق فازی و بر اساس سه توصیف گر اساسی انرژی، پراکندگی و مرکزیت خود نسبت به همسایه ها به دست می آورد. در ادامه، تمام گره ها در انتخاب سرخوشه شرکت می کنند و هر گره وضعیت خودش را با وضعیت گره هایی که در همسایگی آن قرار دارند مقایسه می کند و در صورتی که شرایطش نسبت به همسایه ها بهتر باشد خودش را به عنوان سرخوشه معرفی می کند. در این راهکار فرض شده است که گره ها حرکت ندارند و هر گره به یک دستگاه GPS مجهز است که مکان و موقعیت جغرافیایی خود را پیدا می کند و در مرحله برپا سازی، به گره های همسایه ارسال می کند. سرخوشه n پیام k بیتی را از گره های متعلق به خوشه جمع آوری می کند و سپس عمل فشرده سازی را انجام می دهد و یک پیام cnk بیتی (C: ضریب فشردگی، $C \leq 1$) ایجاد می کند. عملیات انتخاب سرخوشه در این روش مانند الگوریتم LEACH در دو مرحله صورت می گیرد: در مرحله برپا سازی، سرخوشه انتخاب می شود و در مرحله پایداری عملیات فشرده سازی، تبدیل داده ها به یک سیگنال واحد و ارسال به ایستگاه مرکزی صورت می گیرد. مدل رادیویی که استفاده شده، $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ مشابه [۱۲] است. که انرژی مصرفی توسط رادیو برای ارسال یا دریافت ($\epsilon_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$) می باشد. انرژی مصرفی توسط هر گره برای ارسال و دریافت یک پیام k بیتی در مسافت d در فرمول های (۲) و (۳) نشان داده شده است:

$$E_{TX} k, d = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * d^{\lambda} * k \quad (2)$$

$$E_{RX} k = E_{elec} * k \quad (3)$$

(λ : path loss exponent, $\lambda \geq 2$)

اطلاعات خبره بر اساس سه پارامتر زیر بیان می شوند:

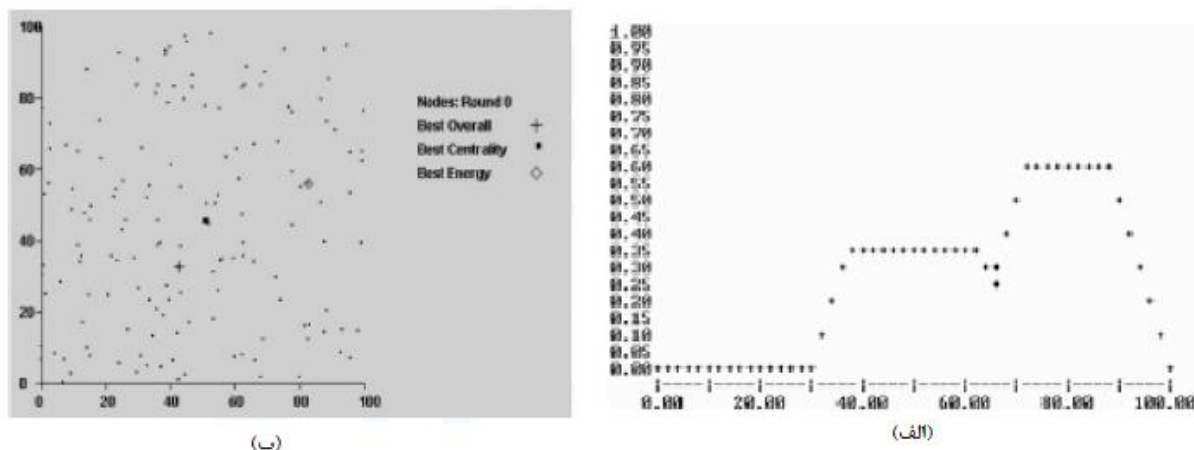
- **انرژی**: متغیر انرژی که سطح انرژی یک گره را نمایش می دهد.
 - **پراکندگی**: متغیر پراکندگی تعداد همسایه های یک گره را نمایش می دهد.
 - **مرکزیت**: متغیر مرکزیت مشخص کننده این است که یک نود چقدر در مرکزیت یک خوشه قرار دارد.
- متغیرهای زبانی که برای ورودی های فازی انرژی و پراکندگی استفاده شده اند به سه سطح کم، متوسط و زیاد تقسیم شده اند. برای ورودی فازی مرکزیت متغیرهای زبانی far, adequate, close نشان دهنده سطح متغیر مورد نظر است. خروجی سیستم فازی که نشان دهنده سطح شانس هر نود برای سرخوشه شدن هفت سطح کوچک، تقریباً کوچک، خیلی کوچک، متوسط، بزرگ، تقریباً بزرگ و خیلی بزرگ است. چون ورودی ها سه متغیر هستند و هر متغیر نیز سه سطح مختلف می تواند داشته باشد، پس جدول $3^3 = 27$ قانون دارد. برخی از این قوانین در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ قوانین فازی [11].

energy	concentration	centrality	chance
low	low	close	small
low	low	adeq	small
low	low	far	vsmall
med	med	close	large
med	med	adeq	med
med	med	far	rsmall
high	high	close	vlarge
high	high	adeq	rlarge
high	high	far	med

۳-۱- ارزیابی روش دوم

برای ارزیابی این روش، مقدار انرژی هر گره بین 2 تا 3 ژول تعریف شده است. برای اندازه گیری طول عمر شبکه از روش FND^۱ مرگ اولین گره [13] استفاده شده، یعنی اولین گره ای که انرژی اش تمام می شود و از شبکه خارج می شود. تعداد گره های شبکه، 100 عدد می باشد که به صورت تصادفی در منطقه توزیع شده اند. شکلها و مثال های زیر به خوبی بیانگر طریقه کار کرد ایده و روش این رویکرد است. شکل ۵ (الف)، مجموعه فازی مربوط به متغیر شانس یک گره را نشان می دهد که در مرحله بعد، الگوریتم نا فازی مرکز ثقل حقیقی روی آن اجرا می سازی شود و یک نقطه روی محور افقی پیدا می کند به طوریکه اگر از این نقطه یک خط عمود رسم شود ناحیه بالا به دو قسمت مساوی تقسیم می شود. عدد مربوط به این نقطه نشانگر شانس گره مورد نظر برای سرخوشه شدن است. شکل ۵ (ب) بهترین گره های شبکه را از لحاظ انرژی، مرکزیت و پارامترهای کلی نشان می دهد. یعنی اینکه کدام گره بیشترین انرژی را در بین بقیه گره ها دارد یا بهترین گره از لحاظ مرکزیت و اینکه کدام گره از لحاظ کلی بیشترین شانس را می تواند داشته باشد. همانطور که قبلا گفته شد این الگوریتم بیان می کند اگر یک گره، از لحاظ یک پارامتر، موقعیت خوبی داشته باشد، حتما گزینه خوبی برای سرخوشه شدن نیست بلکه باید به صورت کلی و با در نظر گرفتن تمام جوانب گزینه خوبی برای سرخوشه شدن باشد. مشخصات گره هایی که در شکل به صورت برجسته نشان داده شده، در جدول 4 آمده اند. همان طور که مشاهده می شود، گره ای که انرژی 99 دارد چون مرکزیت خوبی ندارد باعث می شود که بقیه گره ها متحمل مصرف انرژی زیادی شوند و به همین دلیل، پارامتر شانس آن کم شده است. در صورتی که گره ای که انرژی 97 دارد چون از لحاظ کلی موقعیت خوبی دارد، بیشترین میزان شانس را برای سرخوشه شدن دارد.



شکل ۵- (الف) نمایش مجموعه فازی شانس مربوط به یک گره خاص. (ب) نمایش بهترین گره ها با توجه به پارامترهای مساله [11].

همانطور که تا اینجا کار بیان شد، هدف این است که تمام پارامترها تلفیق شود و گره ای را پیدا کنیم که در مجموع، بهترین موقعیت را داشته باشد. ممکن است گره ای نسبت به همسایگان خود بیشترین انرژی را داشته باشد ولی از لحاظ مکانی در موقعیتی باشد که گره های دیگر برای ارسال داده های خود به این گره متحمل مصرف زیادی انرژی شوند.

¹ First Node Dies

جدول 4 مثالی از مشخصات گره‌ها [11].

Energy=۹۷	concentration=۸	centrality=۳۱
Energy_low=۰	Concentration_low=۰	Centrality_close=۰
energy_med=۰	concentration_med=۰	centrality_adeq=۰
energy_high=۱	concentration_high=۰	centrality_far=۰
Chance=۷۴.۹۴		
Energy=۹۹	concentration=۴	centrality=۴۱
Energy_low=۰	Concentration_low=۰	Centrality_close=۰
energy_med=۰	concentration_med=۰	centrality_adeq=۰
energy_high=۱	concentration_high=۰	centrality_far=۰
Chance=۹۰.۶۲		
Energy=۱۱	concentration=۶	centrality=۲۲
Energy_low=۰	Concentration_low=۰	Centrality_close=۰
energy_med=۰	concentration_med=۰	centrality_adeq=۰
energy_high=۰	concentration_high=۰	centrality_far=۰

پس چنین عاملی باعث می‌شود که شانس این گره کاهش یابد. با توجه به جدول 5، مشاهده می‌شود که گره اول انرژی بیشتری دارد ولی به صورت کلی وقتی هر سه پارامتر دخیل می‌شوند گره اول شانس بیشتری برای سرخوشه شدن پیدا می‌کند چون از لحاظ دو پارامتر بعدی موقعیت بهتری دارد. برای مقایسه طول عمر، از روش FND استفاده شده و نتایج، برای چهار اجرای متفاوت با الگوریتم LEACH مقایسه شده است.

جدول 5 مقایسه طول عمر این روش با الگوریتم LEACH [11].

	اجرای اول	اجرای دوم	اجرای سوم	اجرای چهارم
LEACH	۱۵۹۷	۱۵۷۷	۱۶۲۷	۱۵۵۸
Our approach	۲۵۱۶	۲۹۱۸	۲۸۸۴	۲۷۷۶

۴- روش سوم

این روش یک روش مبتنی بر منطق فازی توزیع شده براساس پنج پارامتر ورودی یعنی انرژی، مرکزیت، فاصله تا ایستگاه پایه، تعداد گره و تراکم گره برای کارآمدتر شدن سیستم انتخاب ریشه می‌باشد که در آن به منظور جلوگیری از مصرف بالای انرژی در طی انتقال پیام، ما هر گره را با موتور منطق فازی و به صورت توزیع شده اجرا شده است. با اجرای منطق فازی توزیع شده در گره‌های میانی، با کاهش تعداد انتقال پیام از گره‌های عضو به گره ریشه و از بین بردن پیام‌های گره‌هایی که احتمال کمتری برای انتخاب شدن به عنوان یک ریشه جدید را داشتن شده‌اند. همچنین این شامل مکانیزم‌های تحمل پذیری خطا، تعادل بار، هنگام سازی و مقیاس پذیری می‌باشد. سهم اصلی این روش انتخاب سرخوشه توزیعی با استفاده از موتور منطق فازی توزیع شده می‌باشد. الگوریتم‌های موجود با استفاده از موتور منطق فازی مرکزی عمل می‌کنند، اما موتور منطقی فازی طراحی شده در این روش در مسیر توزیع شده است. در این سیستم گره‌ها به عنوان گره‌های ایستگاه پایه، ریشه، عضو، والد و گره‌های فرزند مشخص می‌شوند. گره مربوط به ایستگاه پایه وظیفه جمع‌آوری داده‌ها از گره ریشه، گره ریشه رهبر هر خوشه است و وظیفه جمع‌آوری داده‌ها را از گره‌های موجود در خوشه خود را به عهده دارد و آنها را برای ایستگاه پایه می‌فرستد، گره عضو گره‌ای است که متعلق به یک خوشه است و داده‌های حس شده خود را برای گره ریشه آن خوشه می‌فرستد، گره والد یک گره عضو می‌باشد که دارای برگ (فرزند) است و داده‌ها توسط فرزندان هدایت، پردازش و فرستاده می‌شود و در آخر گره فرزند یک گره عضو است که اطلاعات را از طریق گره والد برای ایستگاه پایه ارسال می‌کند. حسگرها به طور عمده انرژی خود را در زمان انتقال و دریافت بسته‌ها، حس کردن و پردازش

داده ها مصرف می کنند. مدل انرژی به کار گرفته شده توسط ما در [۱۶ و ۱۵] هم استفاده می شود. میزان مصرف انرژی در حالی که بسته های K بایتی ارسال می شود برابر است با :

$$T_x = E_{elec}k + \varepsilon_{elec}kd^{\alpha} \quad (۴)$$

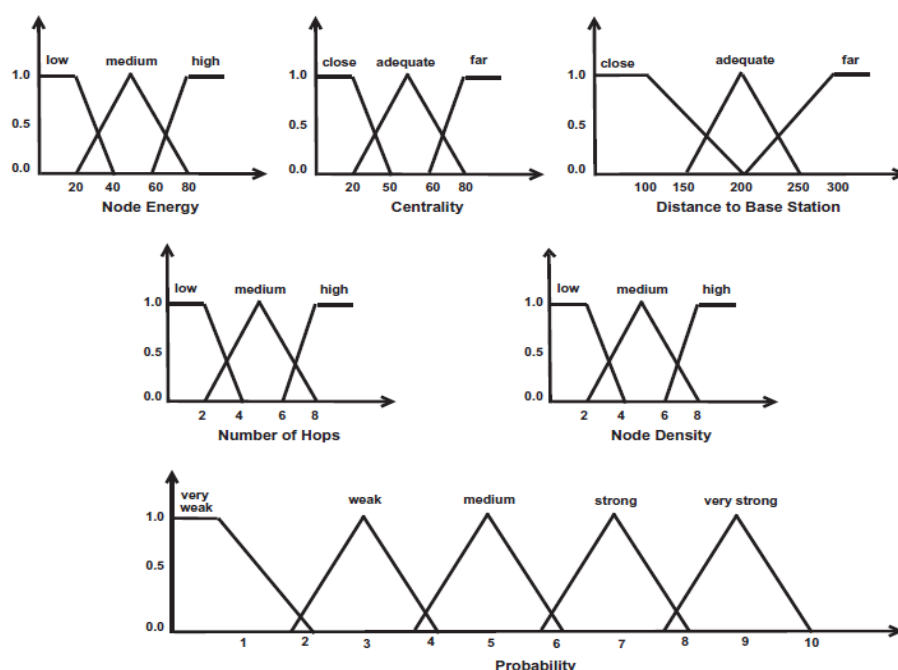
که در آن E_{elec} (nJ/bit) و ε_{elec} (pJ/bit/m²) از ضرایب انرژی در مدار رادیویی و تقویت کننده $\alpha \in [2, 4]$ توان از دست رفته در طول مسیر، یک هم ضریب انتقال از راه دور است. نحوه محاسبه مصرف انرژی در تمامی حالات در [۱۴] بطور کامل شرح داده شده است. الگوریتم انتخاب ریشه مبتنی بر منطق فازی توزیع شده برای گره J :

```

1: initially
2:   Legend : □ STATE ∧ input_message → action
3: loop
4:   □ ROOT ∧ my_energy < threshold → broadcast ALARM to member nodes
5:   □ ROOT ∧ REPLY → run DFL and send YOU_ARE_ROOT to the Crisp output node
6:   current_state_j ← MEMBER
7:   □ MEMBER ∧ REPLY →
8:     if the number of child nodes > 1
9:       run DFL and send REPLY msg of the best quantified child node
10:  □ MEMBER ∧ YOU_ARE_ROOT →
11:    if destination_node_id != my_id
12:      send YOU_ARE_ROOT to destination_node_id
13:  □ MEMBER ∧ ALARM →
14:    send REPLY to root node via parent node
15:  □ MEMBER ∧ I_AM_ROOT →
16:    my_root=root_id my_parent=sender_id
17:    send I_AM_ROOT to neighbor nodes
18:  □ MEMBER ∧ YOU_ARE_ROOT →
19:    flood I_AM_ROOT to the nodes in the tree
20: end loop

```

هنگامی که یک گره ریشه پیام پاسخ را از گره های فرزند خود دریافت کرد، با اجرای الگوریتم منطق فازی توزیع شده به منظور انتخاب گره به عنوان ریشه جدید و پیام YOU_ARE_ROOT به ریشه جدید ارسال می کند. وقتی یک گره عضو پیام YOU_ARE_ROOT را دریافت می کند، آن را چک می کند که آیا گره مقصد خودش است یا خیر؟ اگر گره مقصد بود، پیام I_AM_ROOT به صورت سیل آسا به گره های خوشه های دیگر ارسال می کند، در غیر اینصورت پیام YOU_ARE_ROOT به سمت گره مقصد هدایت می شود. اگر گره عضو پیام I_AM_ROOT را دریافت کرد، این بروز رسانی در شناسه های گره ریشه و والد آن ذخیره شده و پیام I_AM_ROOT را برای گره های همسایه می فرستد. شبه کد الگوریتم خوشه بندی مبتنی بر منطق فازی توزیع شده در الگوریتم بالا داده شده است. فازی سازی، استنباط مبتنی بر منطق فازی، تجمیع خروجی و غیر فازی سازی کردن از مراحل اصلی در سیستم استنباط منطق فازی توزیع هستند. توابع عضویت در سیستم در شکل ۶ داده شده است.



شکل ۶- توابع عضویت [14].

۴-۱- ارزیابی روش سوم

روش‌های DFLC^۱، LEACH^۲، ACAWT^۳، GUPTA و CHEF برای تست و ارزیابی عملکرد آنها از لحاظ مصرف انرژی در ns2 اجرا شده‌اند. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶ پارامترهای شبیه‌سازی [14]

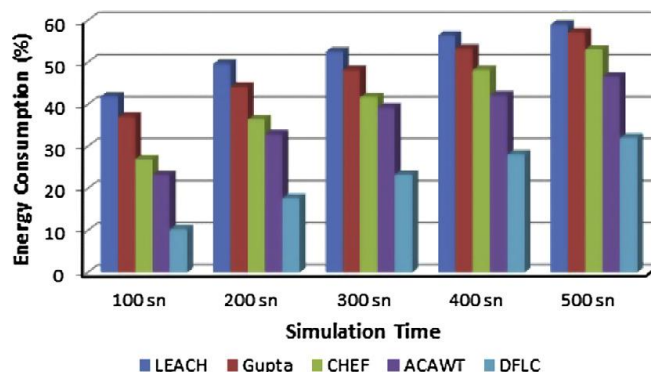
Field size (m × m)	1000 × 1000
Total number of nodes	1500 (for 6 connectivity)
MAC	802.11
Transmission power (W)	0.660
Receiving power (W)	0.395
Sensing range (m)	30 m
Simulation time (s)	100, 200, 300, 400, 500 s

۴-۱-۱- مصرف انرژی

شکل ۷ الگوریتم‌ها را از لحاظ مصرف انرژی مقایسه می‌کند. می‌توان از شکل دریافت که کمترین مصرف انرژی مربوط به الگوریتم DFLC می‌باشد در حالی که بدترین حالت در LEACH برای هر بار شبیه‌سازی بدست آمده است. همان‌طور که می‌بینید طبق رابطه هرچه تعداد انتقال پیام کاهش می‌یابد مصرف انرژی هم کاهش می‌یابد. در ACAWT، در طول مرحله انتخاب سرخوشه جدید، سرخوشه اطلاعات خود را به تمام زیرخوشه‌ها پخش می‌کند. این امر باعث مصرف بالای انرژی به ویژه برای مواقعی که تعداد سرخوشه‌ها بالاست می‌شود. CHEF بهتر از الگوریتم GUPTA است و دلیل آن هزینه‌های بالای ارتباط بین ایستگاه پایه و گره‌ها در الگوریتم GUPTA می‌باشد. اگرچه در GUPTA پارامترهای انرژی، تراکم و مرکزیت در نظر گرفته می‌شود.

¹ Distributed fuzzy logic clustering

² Adaptive Clustering Algorithm via Waiting Timer

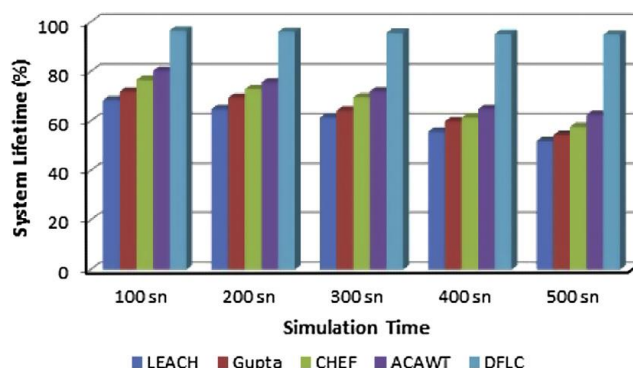


شکل ۷- مقایسه مصرف انرژی الگوریتم ها در مدت زمان شبیه سازی های مختلف [14].

با اجرای سیستم منطق فازی در ایستگاه پایه و تمرکز بر روی جمع آوری و پردازش اطلاعات دریافتی از گره ها در نتیجه مصرف انرژی در ایستگاه پایه قابل توجه خواهد بود. CHEF مشابه الگوریتم GUPTA است اما به طور عمده ای در استفاده از مکانیزم انتخاب سرخوشه محلی و عدم نیاز به جمع آوری اطلاعات از تمام گره ها توسط ایستگاه پایه تفاوت دارند. LEACH تنها به احتمال نتایج مدلی که منجر به مصرف سریع انرژی در سر گره ها می شود وابستگی دارد. علاوه بر این برخی از سرگره ها می توانند در نزدیکی یکدیگر قرار داشته باشند و ممکن است در یک خوشه گره های حسگر بسیار بیش از حدی وجود داشته باشد. همچنین می توان از روی شکلها دریافت که به زمان زیادی برای شبیه سازی نیاز دارد و مصرف انرژی در آن از سایر الگوریتم ها بیشتر است.

۴-۱-۲- طول عمر سیستم

شکل ۸ مقایسه درصد زمانی را نشان می دهد که طول عمر سیستم در DFLC بسیار طولانی تر از سایر الگوریتم های دیگر می باشد و دلیل آن این است که DFLC مقدار زمان انتقال پیام و مکانیزم انتخاب ریشه را بهبود داده است. هرچه تعداد انتقال پیام کاهش یابد، مصرف انرژی هم کاهش می یابد از این رو طول عمر شبکه یا سیستم افزایش می یابد.

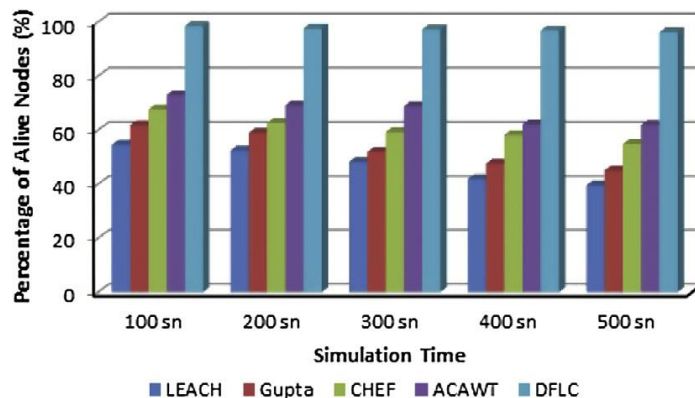


شکل ۸- مقایسه طول عمر الگوریتم ها در مدت زمان شبیه سازی مختلف [14]

۴-۱-۳- تعداد گره های زنده

شکل ۹ مقایسه ای از تعداد گره های زنده الگوریتم ها در شبیه سازی های مختلف را نشان می دهد. گره هایی که زنده هستند که به اندازه کافی انرژی برای جمع آوری و پردازش داده ها داشته باشند. برای هر مقایسه، DFLC بیشترین تعداد گره زنده و LEACH کمترین تعداد گره زنده را دارد. از آنجایی که DFLC بر پایه مدل احتمال نیست و فقط براساس درخواست تغییر ریشه می باشد زمانی که نیاز دارد (زمانی که گره ریشه ۵۰ درصد از انرژی خود را مصرف کرده باشد) متفاوت از الگوریتم های LEACH، GUPTA و CHEF می باشد. دلیل دیگر این است، با توجه به اینکه پیام کمتری در DFLC منتقل می شود، گره به اندازه الگوریتم های دیگر انرژی مصرف نمی کند. از این رو

تعداد گره‌های زنده بسیار بالاتر از الگوریتم‌های دیگر می‌باشد. می‌توان از روی شکل دریافت که با افزایش شبیه‌سازی، تعداد گره‌های زنده کاهش می‌یابد.



شکل ۹- مقایسه الگوریتم‌ها از نظر تعداد گره زنده در مدت زمان شبیه‌سازی‌های مختلف [14].

یکی از محدودیت‌های مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محدودیت منابع انرژی است. به دلیل تخلیه انرژی، گره‌ها ممکن است نتوانند مسئولیت‌ها و پردازش خود را تکمیل نمایند. این محدودیت‌ها برای مکانیزم تحمل‌پذیری خطا مورد نیاز است این بدان معنی است که وقتی یک گره از کار می‌افتد یک گره جایگزین آن می‌شود و روند کار بدون هیچ وقفه‌ای همچنان ادامه دارد. یک مکانیزم با تحمل‌پذیری خطا به صورت یکپارچه در الگوریتم DFLC پیشنهاد شده است.

۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین چالش‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم محدودیت منابع می‌باشد، به همین دلیل مسیریابی در این شبکه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از تکنیک‌های مسیریابی کارا، مسیریابی سلسله‌مراتبی مبتنی بر خوشه‌بندی حسگرها می‌باشد. در روش‌های خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه‌ها اهمیت بسیار زیادی داشته و می‌تواند به کاهش انرژی مصرفی کمک نماید، زیرا در این روش‌ها بیشتر بار شبکه بر روی سرخوشه‌ها بوده و این گره‌ها معمولاً زودتر از سایر گره‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند. یکی از دلایل مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ارسال اطلاعات حسگرها به ایستگاه پایه بوده که این امر در روش‌های مسیریابی سلسله‌مراتبی بر عهده سرخوشه‌ها می‌باشد. در روش اول به منظور کاهش مصرف انرژی و با استفاده از پارامترهای شبکه حسگر از تکنیک طراحی میان لایه‌ای به منظور هماهنگی لایه فیزیکی، لایه MAC و لایه کاربردی استفاده می‌شود که می‌تواند باعث عملکرد بهتر برای بسته‌های دریافت شده باشد تاخیر را کاهش داده و سبب افزایش توان عملیاتی شود و در لایه شبکه مسیریابی بهینه و کشف بهینه گره انجام می‌شود که این موارد در طراحی بین لایه‌ای باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش عمر شبکه می‌شود. در روش دوم دیدیم که پارامترهای زیادی می‌توانند در انتخاب یک گره به عنوان سرخوشه دخیل باشند و به علت اینکه هر چه که تعداد پارامترها بیشتر باشد جدول قوانین نیز بزرگتر می‌شود و باعث افزایش محاسبات و مصرف انرژی بیشتری می‌شود. در این روش سعی شده است اساسی‌ترین و تاثیرگذارترین پارامترها یعنی انرژی، پراکندگی و مرکزیت انتخاب شوند. این روش در قیاس با الگوریتم معروف LEACH کارکرد بهتری دارد. در روش سوم هم به اجرا و مقایسه معیارهای مصرف انرژی، تعداد گره‌های زنده، انتقال پیام، تعادل بار و طول عمر سیستم در الگوریتم DFLC با الگوریتم‌های LEACH، ACAWT، GUPTA و CHEF برای شبیه‌سازی‌های با تعداد گره‌های مختلف دریافتیم که از عملکرد بهتری برخوردار است.

تشکر و قدردانی

با تشکر از پدر و مادرم که بعد از خداوند منان هرچه دارم از دعای خیر این دو بزرگوار است.

مراجع

- 1- Gupta I, Riordan D, Sampalli S. (2005) Cluster head election using fuzzy logic for wireless sensor networks. In: Communication networks and services research conference. pp. 255–260.
- ۲- ملکی زهرا، زین العابدینی داریوش (۱۳۹۳) «ارائه روشی جهت بهبود مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم»، دومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، اسفند ۹۳، شوشتر-ایران، دانشگاه آزاد اسلامی.
- 3- Y. Bi, J. Niu, L. Sun, W. Huangfu, Y. Sun,(2007) “Moving Schemes for Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks”, In proceeding of IEEE Performance, Computing, and Communications Conference(IPCCC), pages 101-108 .
- 4- R. Zhang, M. J. Lee, S. Soon Joo,(2008) “Distributed mobile sink support in wireless sensor networks”, In proceeding of IEEE Military Communications Conference(MILCOM), pages 1-6.
- 5- W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan,(2002) “An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks”, IEEE Transaction Wireless Communication, volume 1, pages 660–670.
- 6- Sim, K. Jin Choi, K. Kwon and Jaiyong Lee, (2009) “Energy Efficient Cluster header Selection Algorithm in WSN”, In Proceedings of IEEE International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, pages 584-587.
- 7- Gupta, D. Riordan and S. Sampalli, (2005) “Clusterhead Election using Fuzzy Logic for Wireless Sensor Networks”, In Proceedings of IEEE Communication Networks and Services Research Conference, pages 255-260.
- 8- J. Myoung Kim, S. Park, Y. Han and T. Chung,(2008)“CHEF: Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic in Wireless Sensor Networks”, In Proceedings of IEEE ICACT, pages 654-659.
- 9- Y. M. Tashtoush, M. A. Okour,(2008)“Fuzzy Self-Clustering for Wireless Sensor Networks”, IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing(EUC), pages 223-229.
- 10- Kuilab P, Janaa P. (2012) “Energy efficient load-balanced clustering algorithm for wireless sensor networks”. In: 2nd International conference on communication, computing and security; pp. 771-777.
- ۱۱- ملکی زهرا، زین العابدینی داریوش (۱۳۹۳) «کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم با انتخاب سرخوشه مناسب با استفاده از منطق فازی»، دومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، اسفند ۹۳، شوشتر-ایران، دانشگاه آزاد اسلامی.
- 12- Q. Liang,(2003)"clusterhead election for mobile ad hoc wireless network" in proc. Of 14th IEEE international symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications.
- 13- M. J. Handy, M. Hasse, and D.Timmermann,(2002)“Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection” in proc. of 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network.
- 14- Alaybeyoglu A.(Sep-2014)“A distributed fuzzy logic-based root selection algorithm for wireless sensor networks”. Comput Electr Eng, Elsevier,pp1-10.
- 15- Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H.(2000)“Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks”. In: 33rd Annual Hawaii international conference on system sciences (HICSS). Maui. p. 305–14.
- 16- Wang Y, Zhao Q, Zheng D.(2004)“Energy-driven adaptive clustering data collection protocol in wireless sensor networks”. In: International conference on intelligent mechatronics and automation. Chengdu, China;p. 599–604.

Study and comparison techniques based on fuzzy logic for optimizing energy consumption in wireless sensor networks

Ebrahim Yarali * , Mehdi Sadegh Zadeh.

1. MSc Student Software engineering, Department of computer, Institute for higher education acecr khouzesan, Ahwaz, Iran, ebi.yarali@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of computer, Mahshahr Branch, Islamic azad university, Mahshahr, Iran, sadegh_1999@yahoo.com

Abstract

Wireless sensor networks (WSN), a new generation of real-time embedded systems with limited computing power and memory are a wide range of applications, especially in cases where the use of traditional networks are not possible. Because of this network, the energy issue is an important challenge, In this paper, we examine and compare three papers discussed In all three cases, the techniques based on fuzzy logic to select the root And cluster head to optimize energy consumption in wireless sensor network is used. The comparison shows that the use of fuzzy logic in the select root and cluster heads A significant role in optimizing energy consumption and extend the lifetime of wireless sensor networks.

Key words: Wireless sensor networks, Fuzzy logic, Optimizing energy consumption, Lifetime, Clustering.

برنامه ریزی توسعه فیدر در سیستم‌های توزیع تحت عدم قطعیت بار

مهر و پولادخای^۱، حمید رضا اکبری رکن آبادی^{۲*}، مازیار میرحسینی مقدم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران ma.pouladkhay@gmail.com

۲- استادیار، گروه مهندسی برق، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران hamid_r_akbari@yahoo.com

۳- استادیار، گروه مهندسی برق، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران m.mirhosseini@liau.ac.ir

چکیده

برنامه ریزی توسعه سیستم‌های توزیع (DEP) به عنوان مهمترین عامل بررسی رشد تقاضای سیستم است. برنامه ریزی مطرح شده شامل نصب اجزاء جدید از جمله فیدر و مسیرهای مربوط به آن می باشد. در این مقاله روش جدید و مرکبی با در نظر گیری عدم قطعیت رشد بار، در جهت اتخاذ بهینه ترین طرح توسعه فیدر در بین کاندیدهای مختلف، هزینه های سرمایه گذاری، بهره برداری، نگهداری، تلفات خط، بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان شبکه ارائه شده است. جهت اتخاذ تصمیمات بهینه با توجه به ساختار تابع هدف از الگوریتم باینری ازدحام ذرات (BPSO) استفاده شده است. در کنار آن جهت شبیه سازی عدم قطعیت از روش مونت کارلو (MC) استفاده شده است. نتایج حاصله نشان دهنده اینست که الگوریتم پیشنهادی توانایی انتخاب توسعه فیدر با در نظرگیری عدم قطعیت بار را دارا بوده که این موضوع منجر به بهبود در بهینه سازی فرآیند سرمایه گذاری سیستم شده است.

واژگان کلیدی: برنامه ریزی توسعه سیستم‌های توزیع، عدم قطعیت، پروفیل ولتاژ، الگوریتم باینری ازدحام ذرات، مونت کارلو

۱- مقدمه

مطالعات سیستم‌های قدرت به طور کلی به دو بخش بهره برداری و نگهداری تقسیم می شود که برنامه ریزی سیستم قدرت شامل تعیین ویژگی، نوع، زمان و محل نصب تجهیزات جدید در سیستم قدرت می باشد، به طوری که با رشد بار در آینده، سیستم قدرت به طور مطلوب و با کمترین هزینه توانایی تأمین بار را داشته باشد. در [۱] به برنامه ریزی چند مرحله ای توسط الگوریتم ^۱MPSO با استفاده پیکر بندی مجدد سیستم توزیع و روش جهشی به اتخاذ تصمیمات بهینه جهت امنیت شبکه با حداقل هزینه پرداخته شده است. در تحقیق صورت گرفته نقش نفوذ DG و عدم قطعیت بار مد نظر قرار نگرفته است. مطالعاتی که در [2] انجام شده است به برنامه ریزی دینامیکی شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روشی که در پخش بار ارائه شده به دنبال حداقل سازی هزینه های بهره برداری، نگهداری، سرمایه گذاری در جهت به روزرسانی شبکه با در نظرگیری عدم قطعیت به صورت منحنی تداوم بار و نقش بازار در افق برنامه ریزی مشخص می باشد. در مرجع [3] در راستای مدلسازی DGها در سیستم توزیع به ارائه روشی با استفاده از الگوریتم سه فاز نامتقارن در پخش بار سیستم پرداخته شده است. اهداف بهینه سازی توسعه شبکه توزیع در راستای اطمینان از تأمین اقتصادی و ایمن انرژی می باشد [5-6]. مقاله [4] برنامه ریزی توسعه چند مدته شبکه توزیع تحت توسعه فیدر با در نظرگیری مکان، اندازه DG و با استفاده از الگوریتم ^۲BCSSO حل شده است. در [7] به برنامه ریزی توسعه شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر پایه رشد بار و توسعه توأم شامل نصب ترانسفورمر، فیدر و در صورت ورود DG

^۱ . Modified Particle Swarm Optimization

^۲ . Binary Chaotic Shark Smell Optimization

مکان و ظرفیت آنها در بروزرسانی تعیین می گردد. در این مدل جهت شبیه سازی عدم قطعیت مدل خاصی ارائه نشده است. از آنجا که حل مسئله برنامه ریزی توسعه به طور همزمان، کار دشواری می باشد در این راستا مطالعات برنامه ریزی به طور مجزا اجرا و احتمال پیدا شدن جواب هایی با کیفیت بالا کاهش می یابد. بنابراین بهترین روش برای یافتن جوابی بهینه استفاده از تمامی تجهیزات اضافه شونده به صورت توأم می باشد [8]. در [9] برای حل مسئله برنامه ریزی توسعه سیستم توزیع از دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم رقابت امپریالیستی استفاده شده است. در این تحقیق تاثیر نفوذ DG مدنظر قرار نگرفته است. در ادامه برای سیستم توزیع در محیط بازار الگوریتم برنامه ریزی توسعه چند هدفه ارائه شده که ضمن حداقل سازی هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری بدنال افزایش قابلیت اطمینان سیستم توزیع می باشد [10]. در این مقاله با استفاده از روشی جدید به برنامه ریزی شبه دینامیکی مقید توسعه فیدر تحت عدم قطعیت بار در جهت اتخاذ بهینه ترین طرح توسعه در بین کاندید های مختلف، حداقل سازی هزینه های سرمایه گذاری، بهره برداری، نگهداری، تلفات خط و در کنار آن بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات توان شبکه در دو بخش ارائه شده است. شبیه سازی عدم قطعیت بار با استفاده از روش مونت کارلو اجرا و ۵ سطح بار با نرخ رشد ۱۲٪ در هر سال در نقاط بار لحاظ شده است. جهت رسیدن به تصمیمات بهینه از الگوریتم BPSO استفاده شده است. در ادامه در بخش ۲ مدل سازی ریاضی الگوریتم پیشنهادی ارائه شده و به دنبال آن تحلیل و شبیه سازی مسئله در بخش ۳ مشخص و در نهایت نتیجه گیری در بخش ۴ بیان شده است.

۲- مدل سازی مسئله

برنامه ریزی توسعه شبکه توزیع مطابق معادله (۱) مسئله غیر خطی عدد صحیح مرکب است که هدف آن انتخاب مکان، تعداد و ظرفیت فیدرهای جدید در به حداقل رساندن هزینه های سرمایه گذاری، بهره برداری، نگهداری، بهبود پروفیل ولتاژ و تلفات توان شبکه در کنار محدودیت ها می باشد. این مساله بر حسب دلار در هر سال قابل محاسبه می باشد:

$$\text{Min } F = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} (C_L + C_{operation} + C_{maintenance} + C_{investment}) \quad (1)$$

در رابطه اخیر هزینه سرمایه گذاری در ابتدای سال اول با فرض ورود فیدر جدید به صورت ضریب $\frac{1}{(1+r)^{t-1}}$ و هزینه های تلفات خط، بهره برداری، نگهداری، به صورت هزینه های جاری و در سال های میانی برنامه ریزی، به صورت ضریب $\frac{1}{(1+0.5r)^{2t+1}}$ بر اساس ارزش حال حاضر مدل می شود. هزینه های مربوط به معادله اخیر در معادلات ۲، ۳، ۴، ۵ نمایش داده شده است:

$$CL = \sum_{t=1, L=0}^{T, L} K_L \times T_{D, L, t} \times P_{Loss} \quad (2)$$

$$C_{operation} = \sum_{j=1}^{N_f} (8760 \times X \times Lf_f \times P_{loss_j} + C_{loss} \times \sum_{t=1, L=0}^{T, L} T_{D, L, t}) \quad (3)$$

$$C_{maintenance} = \sum_{i=1}^{N_{sb}} (MC_{sb_i}) + \sum_{j=1}^{N_f} (X \times L_j \times MC_f + MC_{sw_j}) \quad (4)$$

$$C_{investment} = \sum_{i=1}^{N_{sb}} (IC_{sb_j}) + \sum_{j=1}^{N_f} (X \times L_j \times IC_f + IC_{sw_j}) \quad (5)$$

که در این روابط r نرخ سود سالانه، L تعداد سطح بار در سال t ، K_L قیمت انرژی، $T_{D, L, t}$ مدت زمان سطح بار در سال t ، P_{Loss} کل توان تلف شده در خطوط برای بار L در سال، N_f تعداد فیدر ها، Lf_f ضریب تلفات فیدر، P_{loss_j} توان تلف شده در فیدر j ام، C_{loss} هزینه های تلف شده $(\$/Mwh)$ ، N_{sb} تعداد پست، MC_{sb_j} هزینه های نگهداری پست j ام، X متغیر توسعه فیدر، MC_f هزینه های نگهداری فیدر، MC_{sw_j} هزینه های نگهداری سوییچ j ام، IC_{sb_j} هزینه های سرمایه گذاری پست j ام، L_j طول خط پست j ام، IC_f هزینه سرمایه گذاری فیدر، IC_{sw_j} هزینه سرمایه گذاری سوییچ j ام $(\$/)$ می باشد.

در هر طرح توسعه به عنوان قید باید ساختار شعاعی شبکه حفظ، ولتاژ باس، ظرفیت فیدر ها در ناحیه استاندارد قرار می گیرد.

$$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \quad i = 1, 2, \dots, N_{bus} \quad (6)$$

$$S_j^{FD} \leq S_{j-Cap}^{FD} \quad (7)$$

۱= ساختار شعاعی

(۸)

که در آن S_{j-Cap}^{FD} ظرفیت کلی k امین فیدر می باشد.

اهداف طراحی عبارتند از: حداقل سازی هزینه توسعه فیدر های موجود تحت عدم قطعیت بار می باشد که در آن تعداد، ظرفیت و محل فیدر جدید سیستم توزیع تعیین می گردد.

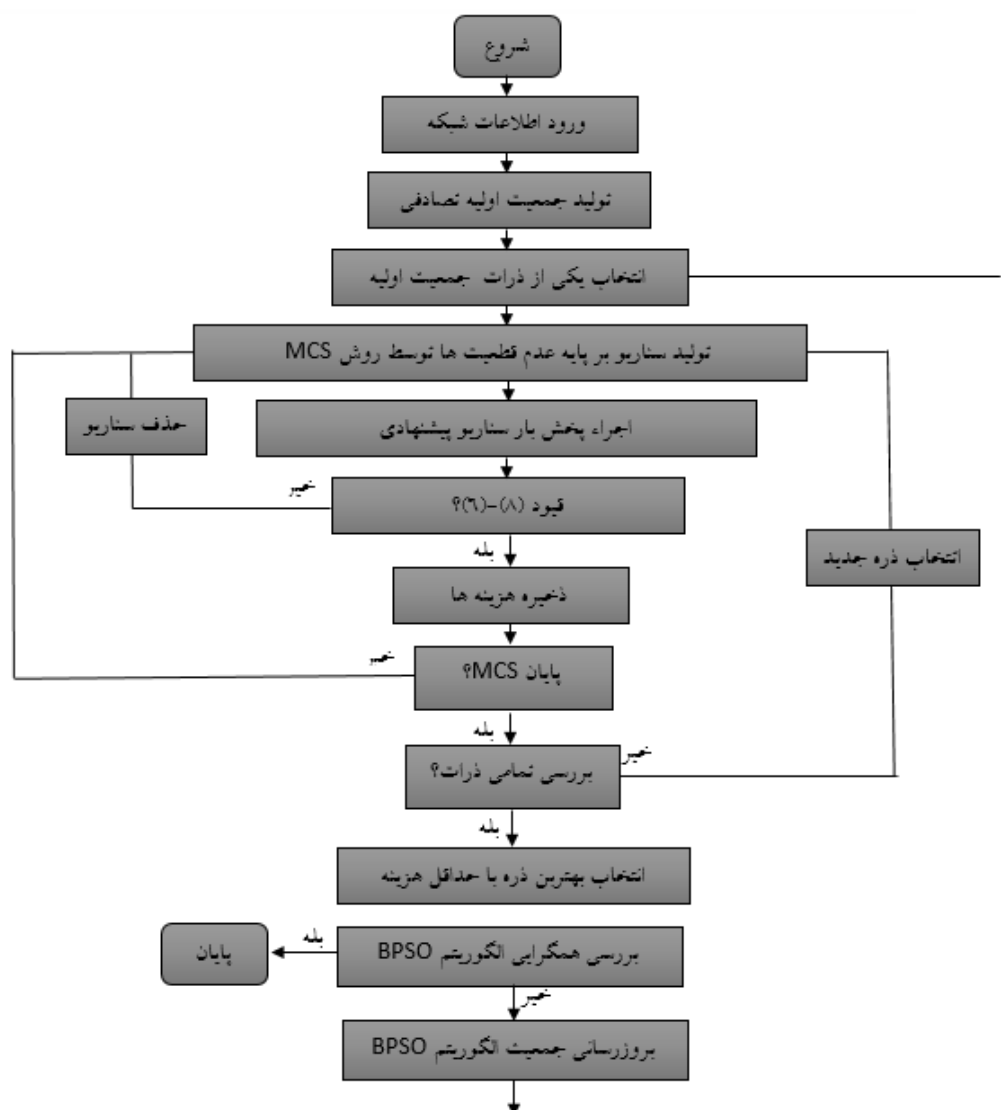
۲-۱- روش کار

برنامه ریزی توسعه پیشنهادی برای به حداقل رساندن هزینه ها ضمن در نظر گرفتن محدودیت های فنی، تقاضای بار در حال رشد شبکه را نیز تأمین می کند. در مسأله برنامه ریزی توسعه فیدر مسائل زیر در نظر گرفته می شود:

- موقعیت جغرافیایی فیدر
- اتصال بین فیدر قبلی و فیدر جدید
- محدودیت فلو فیدرها، افت ولتاژ و ساختار سیستم شعاعی
- حداقل سازی هزینه ها جهت نصب و راه اندازی تأسیسات جدید

این برنامه ریزی به صورت برنامه ریزی شبه دینامیکی چند هدفه مقید در دو بخش ارائه شده است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می گردد، در بخش اول طرح بهینه ای برای تأمین تقاضا در پایان افق برنامه ریزی مشخص و اجزاء جدید نصب می گردند، در بخش دوم نیز نقاط بار جدید به شبکه اضافه و با رشد تقاضا به حل بهینه توسعه شبکه توزیع^۱ (ODNR) پرداخته شده است. مسأله ODNR برای هر فاصله برنامه ریزی توسط الگوریتم BPSO بر پایه محاسبه تابع هدف (۱) با فرض شناخته بودن متغیر های بهینه سازی ثبت شده است. سپس با انتخاب اولین ذرات در جمعیت از روش شبیه سازی مونت کارلو برای ورود عدم قطعیت بار به صورت تصادفی استفاده شده است. نتایج با توجه به این موضوع که در پایان هر سال تمامی داده ها به سال بعد منتقل می گردند و این روند تا سال آخر ادامه می یابد. در این مرحله در صورت نقض قیود سناریوی جاری حذف و در غیر این صورت هزینه ثبت و مونت کارلو تکرار می گردد. در صورتیکه هزینه در بین تمامی ارزش ها کمترین باشد، مسأله پایان می یابد و بهترین ذره به عنوان خروجی برنامه ریزی ثبت می گردد در غیر این صورت مسأله بر اساس الگوریتم BPSO از ابتدا تکرار می گردد.

^۱ . Optimal Distribution Network Reinforcement



شکل ۱- فلوچارت روش پیشنهادی

۲-۲- عدم قطعیت مقدار متوسط بار مصرفی

با کاهش میزان دقت، می توان عدم قطعیت در مقدار میانگین مصرف هر نقطه بار را لحاظ نمود. این کار ضمن حفظ سهولت در محاسبات موجب نزدیکی نتایج به مقیاس واقعی می شود. از سوی دیگر علاوه بر این موضوع در نظر گیری قیمت در کنار عدم قطعیت بار منجر به ارائه طرح قوی تری به منظور تأمین نیاز ها می باشد. برای اعمال این فرآیند در مسأله از تابع توزیع نرمال مقدار میانگین تابع مزبور بر متوسط داده های بار مصرفی منطبق و به میزان انحراف معیار ۱۰ درصد اعمال و از روش شبیه سازی مونت کارلو برای درج عدم قطعیت استفاده شده است. نتایج در راستای رسیدن به مقادیر واقعی بر اساس اطلاعات سالانه بار مصرفی اعمال شده و رشد بار با پنج سطح با نرخ رشد ۱۲ درصد در نقاط بار در هر سال لحاظ شده است. جدول ۱ سطوح مربوط به انرژی و بار را نمایش می دهد.

جدول ۱- هزینه انرژی و بار

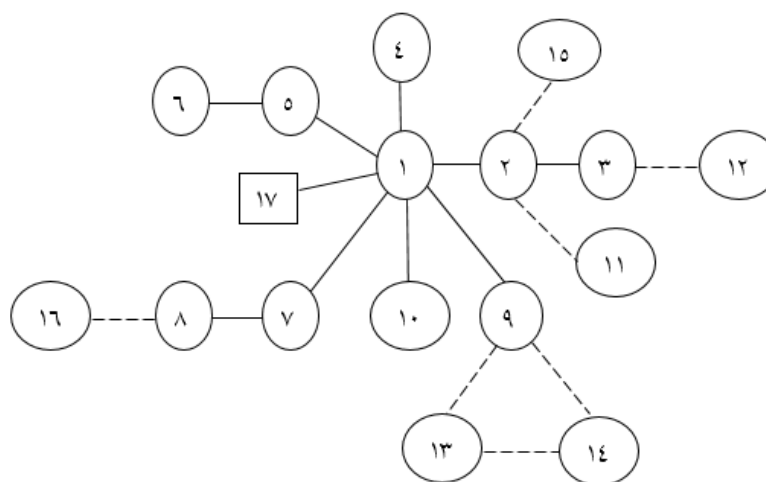
سطوح بار	درصد پیک بار	مدت زمان پیک	قیمت انرژی
۱	۱۰۰	۱۵۰۰	۷۰
۲	۹۶	۲۵۰۰	۴۹
۳	۸۴	۳۰۰۰	۳۵
۴	۷۰	۵۰۰۰	۲۰
۵	۵	۲۲۶۰	۱۰

۳- تحلیل و شبیه سازی مسأله

۳-۱- مشخصات سیستم

جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهادی شبکه شعاعی ۱۰ باسه به صورت شکل ۲ با دیاگرام تک خطی نمایش داده شده است. این شبکه دارای یک پست توزیع، ۱۰ فیدر موجود، ۱۶ گره بار، ۷ خط کاندید جهت توسعه فیدر می باشد. افق برنامه ریزی ۵ ساله با تبدیل به دوره های ۱ ساله انجام و داده های بار و فیدرهای کاندید جدید در جدول ۵ و ۶ مشخص شده است. پارامترهای الگوریتم BPSO شامل: ۲۰۰ عضو، $C_1 = 1.5$ ، $C_2 = 2.5$ می باشد. الگوریتم پیشنهادی جهت رسیدن به بهینه ترین طرح توسعه بارها تکرار و بهترین نتیجه ثبت شده است.

	گره بار		پست موجود
-----	شاخه کاندید جهت نصب فیدر	————	فیدر موجود

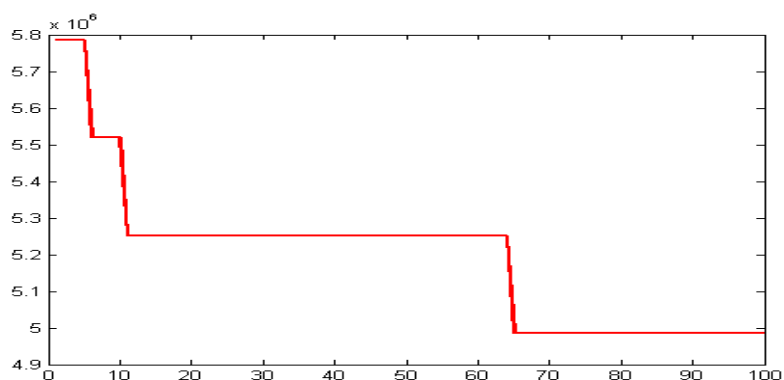


شکل ۲- شبکه ۱۰ شینه

۳-۲- برنامه ریزی بدون عدم قطعیت

در راستای دستیابی به بهینه ترین طرح توسعه فیدر سیستم توزیع، فیدرهای کاندید بدون در نظرگیری عدم قطعیت بار در دو بخش به صورت تصادفی بعد از چندین نقض قید انتخاب و نتایج حاصل از انتخاب بهترین کاندید در جدول ۲ ثبت شده است. جهت مقایسه نتایج، حضور DG در نظر گرفته شده و جهت مدلسازی پخش بار از روش PQ استفاده و ضریب توان DG به صورت 0.95 و نتایج پروفیل ولتاژ در جدول ۳ نمایش داده شده است. ضمناً هزینه های مربوط به توسعه با در نظر گیری موارد فوق در جدول ۴ مشخص شده است. همگرایی الگوریتم

BPSO در اولین مرحله و بدون حضور DGها در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است در این بخش از برنامه ریزی کاربرد DG موجب بهبود نتایج حاصل از هزینه ها، پروفیل ولتاژ، تلفات اکتیو و راکتیو شده است.



شکل ۳- همگرایی الگوریتم BPSO در اولین مرحله بدون DG

جدول ۲- خطوط و DGهای کاندید اضافه شده به سیستم

	بدون عدم قطعیت		با عدم قطعیت	
	DG بدون	DG با	DG بدون	DG با
خطوط کاندید اضافه شده	۲-۱۱ ۹-۱۳ ۱۳-۱۴	۲-۱۱ ۹-۱۳ ۱۳-۱۴	۲-۱۵ ۳-۱۲	۹-۱۴ ۸-۱۶
DGهای اضافه شده	-	شین ۲ شین ۳ شین ۷	-	شین ۳ شین ۵ شین ۹

جدول ۳- نتایج پروفیل ولتاژ

شماره شین	بدون عدم قطعیت		با عدم قطعیت	
	DG بدون	DG با	DG بدون	DG با
1	1	1	1	1
2	0.9780	0.9801	0.9833	0.9859
3	0.9540	0.9623	0.9610	0.9843
4	0.9810	0.9810	0.9822	0.9882
5	0.9780	0.9810	0.9850	0.9870
6	0.9785	0.9881	0.9810	0.9890
7	0.9653	0.9710	0.9710	0.9840
8	0.9653	0.9727	0.9830	0.9855
9	0.9692	0.9749	0.9858	0.9831

10	0.9540	0.9655	0.958	0.9662
----	--------	--------	-------	--------

۳- برنامه ریزی تحت عدم قطعیت

به طور مشابه در این بخش نیز برنامه ریزی توسعه تحت عدم قطعیت بار در دو بخش اجرا شده است. نتایج کارایی مناسب الگوریتم BPSO را در رسیدن به مناسب ترین جواب نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد در نظر گیری توأم عدم قطعیت و حضور DG در برنامه ریزی توسعه فیدر نتایج را تا حد زیادی بهبود داده است.

جدول ۴- هزینه های توسعه

هزینه ها	بدون عدم قطعیت		با عدم قطعیت	
	بدون DG	با DG	بدون DG	با DG
خط	۲۳۲۵۶۹۸	۵۶۴۷۶۰	۲۳۱۴۵۲۱	۴۳۲۸۰۷
بهره برداری	۲۶۵۰۷	4668	۲۵۸۴۹	۴۶۰۴
نگهداری	۲۰۰۵۳	۲۹۲۲۵	۲۰۰۵۳	۲۸۳۳۱
سرمایه گذاری	۲۸۳۶۱۲۴	۱۸۵۷۳۵۱	۲۶۷۲۶۸۱	۲۵۰۰۱۸۴
کل هزینه ها	۵۲۰۸۳۸۲	۲۴۵۶۰۰۴	۵۰۳۲۱۰۴	۲۹۶۵۹۲۶

۴- مقایسه نتایج حاصل از برنامه ریزی

نتایج حاصل از برنامه ریزی در دو بخش قبلی نشان دهنده آنست که برنامه ریزی تحت عدم قطعیت بار در رسیدن به بهینه ترین طرح توسعه با تعیین مکان، تعداد و ظرفیت فیدرها علاوه بر کاهش هزینه ها، منجر به بهبود پروفیل ولتاژ و تلفات توان شده است. ضمناً حضور DG منجر به بهبود نتایج حاصل از برنامه ریزی و پروفیل ولتاژ شده است.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله برنامه ریزی توسعه فیدر در قالب یک مسأله بهینه سازی شبه دینامیکی مقید با در نظر گیری عدم قطعیت بار در محیط نرم افزار MATLAB برنامه ریزی و اجرا شده است. روش پیشنهادی به دنبال یافتن بهینه ترین طرح توسعه فیدر با در نظر گیری حداقل هزینه ها تحت محدودیت های فلووی جریان، افت ولتاژ، موقعیت جغرافیایی فیدر ثبت و جهت شبیه سازی عدم قطعیت ها از روش مونت کارلو و تابع توزیع احتمالاتی نرمال استفاده شده و توسط الگوریتم BPSO حل شده است. نتایج حاصل نشان دهنده مؤثر بودن روش پیشنهادی در برنامه ریزی توسعه تحت عدم قطعیت می باشد.

جدول ۵- داده های بار جدید در شبکه ۱۰ شینه

توان ظاهری ($Kw+jKvar$)	شماره شین	افق برنامه ریزی
180+100j	11	1
200+110 j	12	2
280+150j	13	3
250+130j	14	4
230+130j	16	5

جدول ۶- خطوط کاندید اضافه شده به شبکه ۱۰ شینه

تعداد خطوط	طول خط (m)
2-11	216
2-15	491
3-12	345
9-13	201
9-14	237
13-14	150
8-16	59

مراجع

- 1- Aghaei Jamshid, Mottaghi Kashem M, Azizivahed Ali, Gitizadeh Mohsen (2013), Distribution expansion planning considering reliability and security of energy using modified PSO, Energy xxx, pp1-14.
- 2- E. Naderi, H. Seifi and M. S. Sepasian, (2002) "A Dynamic Approach for Distribution System Planning Considering Distributed Generation", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, no. 2, pp. 646-653.
- 3- Eminoglu U, Hocaoglu MH. (2005) A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models. Electr Power Syst Res;76:106–14.
- 4- Masoud Ahmadigorji, Nima Amjady, (2016) A multiyear DG-incorporated framework for expansion planning of distribution networks using binary chaotic shark smell optimization algorithm Energy.102.pp.199-215
- 5- R.C. Dugan, T. E. McDermott and G.J. Ball, (2000) Distribution planning for distributed generation, Rural Electric Power Conference, Vol. C, p.C4/1–C4/7, ,
- 6- R.C. Dugan, T. E. McDermott and G.J. Ball, (2001) Planning for distributed generation, IEEE Industry Applications Magazine, ,Vol.7,No.2, pp. 80–88.
- 7- R. E. Brown, X. Feng, Y. Liao, and J. Pan,(2003) "An application of genetic algorithms to integrated system expansion optimization," in IEEE Conf., vol. 2, pp. 746.
- 8- S. Ganguly and N.C. Sahoo, Multi-objective planning of electrical distribution systems using dynamic programming, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013, Vol.46, pp.65–78.
- 9- S. Najafi Ravadanegh and R. Gholizadeh Roshanagh, (2014) On optimal multistage electric power distribution networks expansion planning, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 54, pp.487–497.
- 10- Setayesh Nazara, Mehrdad, R. Haghifam, Mahmood, Nazar ,Mehran (2012) A scenario driven multiobjective Primary–Secondary Distribution System Expansion Planning algorithm in the presence of wholesale–retail market, electrical power and energy syetem , vol.40, pp.29-45.

Distribution feeder expansion planning under load uncertainty

Mahrou pouladkhay, Hamidreza akbari*, maziar mirhosseini

1. *Student*, Department of electrical engineering, Yazd branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran
, *ma.pouladkhay@gmail.com*
2. Assistant Professor, Department of electrical engineering, Yazd branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran
, *hamid_r_akbari@yahoo.com*
3. Assistant Professor, Department of electrical engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
, *m.mirhosseini@liau.ac.ir*

Abstract

Distribution System expansion Planning (DEP) is the most important factor in the demand growth in the system. Planning involves the installation of new facilities, including feeder and new routes. In this paper, a new method is proposed under load uncertainty to obtain the best feeder expansion scheme in different candidate. The objective function of proposed model is minimization of the total investment, operation, maintenance and line loss costs. Moreover, improve voltage profile and reduction of power losses are investigated. The proposed planning is optimized using the binary particle swarm optimization (BPSO) technique. In addition, the uncertainty is modeled using Monte-Carlo simulation (MCS). The simulation results prove the ability and effectiveness of the proposed planning method to deal with uncertainty and operating investment Process.

Key words: Distribution expansion planning, uncertainty, voltage profile, binary particle swarm optimization, Monte-Carlo

بررسی و تحلیل روش‌های استخراج ویژگی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ماشین بردار پشتیبان برای
کلاس بندی سیگنال‌های الکترومایوگرام عضلات بازو

سید علی زنده باد، سیامک حق پور، حمیدرضا کبروی، سید امیر زنده باد

تحلیل اثر شار نفوذی بر دمای دیواره محفظه احتراق موتور زم استیک در خنک کاری احیائی
فاطمه غلامی، کورس نکوفر

حسگری همکارانه طیف با استفاده از آنتن‌های چند گانه در سیستم‌های رادیو شناختگر
سیدعلی اکبر هاشمیان، حمید فرخی، محمد صادقیان کردآبادی، رضا قاضی زاده

بررسی و مقایسه تکنیک‌های مبتنی بر منطق فازی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم
ابراهیم یارعلی، مهدی صادق زاده

برنامه ریزی توسعه فیدر در سیستم‌های توزیع تحت عدم قطعیت بار
مهر و پولادخای، حمید رضا اکبری رکن آبادی، مازیار میرحسینی مقدم

پژوهش‌های نوین
فصلنامه علمی

۰۲۱ ۳۳۲۰۲۴۸۷



۰۲۶ ۳۲۷۲۴۷۸۷

۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱۲۴

۰۲۶ ۳۲۷۴۷۱۵۸

تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفتتیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف