

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

مهندسی برق گرایش الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی و مقایسه الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم
از دیدگاه کیفیت خدمات

نگارنده: مریم صادقی

استاد راهنما:

دکتر امید رضا معروضی

شهریور ۱۳۹۵



تقدیم به خانواده ام:

پدر و مادر مهر بانم که در مسیر زندگی همواره یاوری فداکار و پشتیبانی
محکم و مطمئن برایم بوده اند
و خواهر و برادرم که وجودشان امید و دلگرمی و دیدارشان نشاط
زندگی ام هست

به نام او که حق است و همه از او وجود می‌گیرند،

سپاس می‌گویم پروردگارم را که همیشه لطف و محبت بی‌اندازه به
من ارزانی داشته است.

از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های ارزنده استاد گران‌قدر و
دلسوزم، جناب آقای دکتر امید رضا معروضی، کمال تشکر را دارم.



تعهد نامه

- این جانب **مریم صادقی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته الکترونیک - سیستم دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارزیابی و مقایسه الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی سیم از دیدگاه کیفیت خدمات تحت راهنمایی دکتر امید رضا معروضی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود هست و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ .

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود هست. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده فارسی:

پیشرفت فناوری در عرصه ارتباطات بی‌سیم، الکترونیک و طراحی‌های کم‌مصرف، همچنین تمایل به استفاده از محصولات کم‌قیمت با کارایی بالا منجر به پیدایش یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شبکه‌ها تحت عنوان شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده است. با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی این شبکه‌ها جمع‌آوری و ارسال اطلاعات درباره محیط اطراف به‌گه اصلی است، مهم‌ترین مسئله در اینجا تحویل سریع و صحیح بسته‌های داده با کمترین میزان مصرف انرژی است و همچنین با افزایش کاربردهای این شبکه در زندگی انسان، کیفیت خدماتی که این شبکه‌ها ارائه می‌دهند بسیار بااهمیت می‌شود.

در این تحقیق پس از معرفی شبکه‌های حسگر بی‌سیم و بیان کاربردها به تعریف کیفیت خدمات در این شبکه‌ها خواهیم پرداخت. سپس با مطرح کردن محدودیت‌های پیش‌رو، به بیان مهم‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با توجه به فراهم شدن معیارهای کیفیت خدمات، می‌پردازیم؛ و در ادامه یک الگوریتم مسیریابی بر مبنای الگوریتم ژنتیک ارائه می‌کنیم و با مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی و یکی از الگوریتم‌های موجود جدید، بهبود کیفیت خدمات نشان داده می‌شود. برای بهبود کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توجه به تمام لایه‌های شبکه امری ضروری است؛ اما در این کار توجه بر روی لایه شبکه هست و سعی شده است تا با انتخاب الگوریتم مسیریابی مناسب، فراهم کردن نیازهای کیفیت خدماتی لازم را نظیر معیارهای تأخیر دریافت بسته‌ها و مصرف انرژی گره‌ها، با توجه به محدودیت‌های ذاتی شبکه‌های حسگر بی‌سیم افزایش دهیم.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کیفیت خدمات، الگوریتم مسیریابی

فهرست عناوین:

- ۱ فصل اول: مقدمه و مروری بر شبکه‌های حسگر بی‌سیم
- ۱-۱ مقدمه.
- ۲-۱ کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم
- ۳-۱ ساختار حسگر بی‌سیم
- ۴-۱ چالش‌های مسیریابی
- ۱-۴-۱ پارامترهای کیفیت خدمات:
- ۲-۴-۱ مصرف بهینه انرژی
- ۳-۴-۱ حرکت
- ۴-۴-۱ عبور از چاله ها
- ۵-۱ کیفیت خدمات
- ۱-۵-۱ محدودیت‌های کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم
- ۶-۱ دست آورد پایان نامه
- ۷-۱ ساختار پایان نامه
- ۲ بررسی الگوریتم های موجود
- ۱-۲ دسته‌بندی انواع روش‌های مسیریابی
- ۱-۱-۲ روش‌های مبتنی بر ساختار
- ۱-۱-۱-۲ مسیریابی بدون اولویت
- ۲-۱-۱-۲ مسیریابی سلسله مراتبی

- ۲-۱-۱-۳ مسیریابی بر مبنای موقعیت مکانی ۲۱
- ۲-۱-۲ روش‌های مبتنی بر عملکرد پروتکل‌ها ۲۲
- ۲-۱-۲-۱ مسیریابی مبتنی بر مذاکره ۲۲
- ۲-۱-۲-۲ مسیریابی مبتنی بر مسیرهای چندگانه ۲۳
- ۲-۱-۲-۳ مسیریابی مبتنی بر صف ۲۳
- ۲-۱-۲-۴ مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات ۲۴
- ۲-۱-۲-۵ مسیریابی منسجم یا همسان ۲۴
- ۲-۱-۲ صورت‌های مختلف از کاربرد محاسبات نرم در طراحی الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۲۶
- ۲-۱-۲-۱ یادگیری تقویتی ۲۷
- ۲-۱-۲-۲ مبتنی بر هوش ازدحامی ۲۹
- ۲-۱-۲-۳ مبتنی بر منطق فازی ۳۱
- ۲-۱-۲-۴ مبتنی بر شبکه عصبی ۳۲
- ۲-۱-۲-۵ مبتنی بر سیستم ایمنی مصنوعی ۳۳
- ۲-۱-۲-۶ مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی ۳۳
- ۲-۲ اهداف طراحی در پروتکل‌های مختلف ۳۴
- ۲-۲-۱ شبکه‌های پویا ۳۴
- ۲-۲-۲ نحوه آرایش و یا توپولوژی گره‌ها ۳۴
- ۲-۲-۳ مصرف انرژی ۳۵

۳۵	مدل تحویل داده
۳۵	ظرفیت گره‌ها
۳۶	جمع‌آوری و یا ادغام داده‌ها
۳-۲	پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک موجود در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از دیدگاه کیفیت خدمات
۳۶	
۳۸-۲	پروتکل مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و درخت جمع‌آوری داده ..
۲-۳-۲	پروتکل خوشه‌بندی با انرژی بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک
۳-۳-۲	الگوریتم ژنتیک برگزیده بر اساس طرح‌های مسیریابی انرژی بازده برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم
۴۰	
۴-۳-۲	پروتکل هیبریدی مبتنی بر کیفیت خدمات با استفاده از الگوریتم ژنتیک توزیع‌شده
۴۲	
۵-۳-۲	مسیریابی آگاه از انرژی با تأخیر محدود، مبتنی بر الگوریتم ژنتیک
۴۴	
۶-۳-۲	یک الگوریتم مسیریابی با کوانتوم ژنتیک مبتنی بر ارائه کیفیت خدمات
۴۵	
۷-۳-۲	پروتکل مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات با انرژی مؤثر
۴۷	
۴۹	فصل سوم: الگوریتم پیشنهادی
۵۰	۱-۳ الگوریتم ژنتیک
۵۳	۲-۳ مزایای الگوریتم ژنتیک
۵۳	۳-۳ روش پیشنهادی
۵۴	۴-۳ مدل شبکه در روش پیشنهادی

۵۸	..... ۵-۳ مراحل الگوریتم پیشنهادی
۵۸	..... ۱-۵-۳ کدگذاری
۶۰	..... ۲-۵-۳ جمعیت اولیه
۶۰	..... ۳-۵-۳ تابع برازش:
۶۳	..... ۴-۵-۳ انتخاب والدین
۶۴	..... ۵-۵-۳ ترکیب
۶۹	..... ۶-۵-۳ جهش
۷۰	..... ۷-۵-۳ جایگزینی (ابقا)
۷۰	..... ۶-۳ نتایج شبیه سازی
۷۵	..... ۴ فصل چهارم: نتیجه گیری و چشم انداز کارهای آتی
۸۱	..... ۱-۴ نتیجه گیری
۸۲	..... ۲-۴ پیشنهادها

فهرست اشکال:

- شکل ۱-۱: نمونه‌ای از معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم..... ۳
- شکل ۲-۱: کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم..... ۶
- شکل ۳-۱: جزای یک گره شبکه‌های حسگر بی‌سیم..... ۸
- شکل ۴-۱: ترسیم مدل ساده‌ای از کیفیت خدمات..... ۱۱
- شکل ۱-۲: انواع روش‌های مسیریابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم..... ۲۶
- شکل ۲-۲: روال انجام پروتکل مسیریابی به کمک خوشه‌بندی و مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ۴۰
- شکل ۳-۲: ترکیب دونقطه‌ای..... ۴۱
- شکل ۴-۲: کدگذاری به روش توالی متغیر..... ۴۳
- شکل ۵-۲: جستجوی مسیرها در الگوریتم کلونی مورچگان..... ۴۴
- شکل ۱-۳: مراحل الگوریتم‌های تکاملی..... ۵۱
- شکل ۲-۳: نمونه یک گراف ورودی..... ۵۵
- شکل ۳-۳: نمونه یک شبکه وزن‌دار با ۱۵ گره که گره‌های مقصد با رنگ آبی و گره مبدأ با رنگ سبز نمایش داده شده است..... ۵۵
- شکل ۴-۳: انتخاب دورترین همسایه‌ها و مسیر به وجود آمده در محاسبه تابع هزینه. ۶۲
- شکل ۵-۳: تأخیر مسیر موجود بین مبدأ و مقصدها..... ۶۲
- شکل ۶-۳: نمونه دو والد انتخاب‌شده با ۱۵ گره برای اعمال مرحله ترکیب..... ۶۴
- شکل ۷-۳: نمونه یک درخت فرزند در اولین مرحله از اجرای عملگر ترکیب..... ۶۵
- شکل ۸-۳: نمایش سه مرحله اول اصلاح فرزند حاصل از ترکیب..... ۶۸
- شکل ۹-۳: ادامه مراحل اصلاح درخت فرزند..... ۶۹
- شکل ۱۰-۳: نمایش طول عمر شبکه در الگوریتم ژنتیک ساده..... ۷۲

شکل ۱۱-۳: نمایش بهبود طول عمر شبکه توسط پروتکل پیشنهادی ۷۲

شکل ۱۲-۳: مقایسه طول عمر شبکه در الگوریتم پیشنهادی و ElitismGA با simpleGA

۷۳

شکل ۱۳-۳: نمایش بهبود تابع هدف ۷۴

فهرست جداول:

- جدول ۱-۱۳: انواع روش‌های موجود برای هر یک از مراحل انجام الگوریتم ژنتیک..... ۵۲
- جدول ۲-۱: پارامترهای الگوریتم ژنتیک..... ۵۸
- جدول ۳-۱: مقایسه پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک..... ۷۹
- جدول ۴-۱: بررسی روش انتخابی هر یک از پروتکل‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک..... ۸۰
- جدول ۵-۱: مقایسه نقاط ضعف و قوت پروتکل پیشنهادی نسبت به سایر پروتکل‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک..... ۸۱

۱ فصل اول

مقدمه و مروری بر شبکه‌های حسگر بی‌سیم

شبکه‌های حسگر بی‌سیم شبکه‌هایی تشکیل یافته از چندین گره^۱ با قابلیت حس کردن پارامترهای مختلف محیط و ارسال داده‌های دریافتی به سایر گره‌ها و یا گره چاهک^۲ می‌باشند [۱]. گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، بدون زیرساخت^۳ و به‌طور تصادفی در محیط هدف پخش می‌گردند. این روش پخش امکان استفاده از آن‌ها در محیط‌های با دسترسی مشکل و یا در موقع بحران را فراهم می‌آورد [۲]. برای گیرنده مرکزی، گره‌ای با میزان انرژی بالا و تجهیزات کافی موردنیاز است زیرا این گره رابط بین شبکه حسگر و محیط اطراف هست. در صورتی که وسعت جغرافیایی شبکه زیاد باشد، می‌توان از چندین گیرنده مرکزی استفاده نمود. از آنجایی که ارسال مستقیم رادیویی در فواصل زیاد، به انرژی بسیار زیادی نیاز دارد، در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، از روش‌های انتقال اطلاعات به‌صورت گام‌به‌گام استفاده می‌شود. نحوه اتصالات این گره‌ها و نحوه مسیریابی داده‌ها برای رسیدن به گره چاهک بسیار مهم و اساسی است، چراکه بر عواملی چون مصرف انرژی، تأخیر ارسال شبکه، حجم داده ارسالی و تحمل‌پذیری خطای شبکه مؤثر است. از نیازمندی‌های اساسی شبکه این است که انرژی کمتر مصرف شود، دقت اطلاعات بالا، تأخیر کم و تعداد خطاهای حداقل گردد.

طراحی یک شبکه حسگر بی‌سیم از چندین پارامتر تأثیرپذیر هست شامل تحمل‌پذیری خطا، قابلیت اطمینان^۴، مقیاس‌پذیری^۵، هزینه تولید، محدودیت‌های سخت‌افزاری، محیط انتقال، رسانه ارتباطی، توپولوژی شبکه و مصرف انرژی.

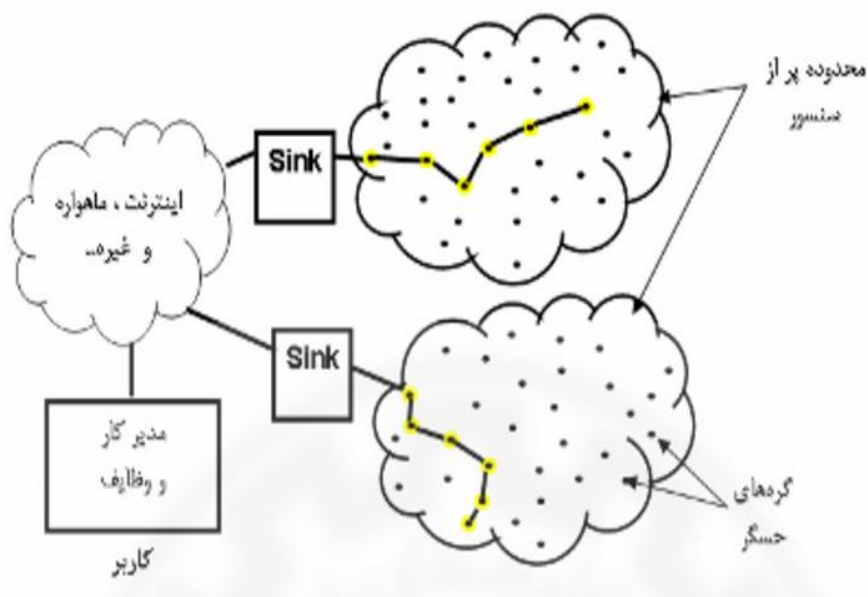
^۱ Node

^۲ Sink

^۳ Non Infrastructured

^۴ Reliability

^۵ Scalability



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

۲-۱ کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم

شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توانند دارای انواع حسگرهای لرزه‌نگاری، دمایی، بینایی، مادون قرمز، صوتی و غیره باشند که ویژگی‌های محیطی مختلفی را حس می‌کنند [۲]، از جمله ویژگی‌هایی که برحسب کاربرد در معماری حسگر بی‌سیم مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان مواردی چون: دما، رطوبت، حرکت وسایل نقلیه، فشار، وضعیت نور، سطح نویز، حضور اشیا در محیط و ویژگی‌هایی نظیر سرعت، اندازه و یا فاصله اشیا را نام برد.

انواع کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم در [۲] و [۳] و [۴] مطرح گردیده است.

عمده این کاربردها را می‌توان به شکل زیر معرفی نمود:

کاربرد در حمل و نقل: می‌توان از این نوع شبکه‌ها برای ایجاد سامانه هوشمند حمل و نقل در جاده‌ها به منظور مشاهده وضعیت ترافیک، تشخیص تصادف، پیدا کردن محل‌های پارکینگ خالی و ... استفاده نمود ضمن این‌که بررسی وضعیت ساختمان‌ها و پل‌ها

بعد از بروز حوادث طبیعی مانند زلزله، مدیریت تأسیسات برای شناسایی ورود و خروج افراد و ... نیز می‌تواند به‌عنوان دیگر کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم نام برده شود.

کاربردهای محیط‌زیست: تحقیقات در زمینهٔ محیط‌زیست نیازمند انجام مطالعات و زمان زیاد به جهت جمع‌آوری اطلاعات هست که می‌توان در چنین شرایطی از دستگاه‌های نظارتی استفاده نمود، همچنین در برخی شرایط محیط‌زیست برای جلوگیری از اثرگذاری منفی در عملکرد غریزی موجودات، تحقیقات نیازمند سکوت کامل هست که در این شرایط نیز می‌توان از این سیستم‌ها به‌منظور نظارت و کنترل از راه دور، بدون اینکه حتی در محیط محسوس باشند، استفاده کرد. از طرفی دیگر از این حسگرها می‌توان برای ثبت و بررسی و پیش‌بینی وقایعی نظیر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و سیل استفاده نمود، همچنین از برخی انواع آن‌ها می‌توان برای بررسی حرکت حیوانات نظیر پرندگان بهره برد. با استفاده از این نوع شبکه‌ها می‌توان وجود آلودگی مشخص را در سطح محیط موردنظر، ضمن به دست آوردن غلظت آلودگی و کسب اطلاعات آماری، بررسی کرد؛ بنابراین استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم در کاربردهای محیطی می‌تواند علاوه برداشتن هزینه پایین عملیاتی، از توانایی بالایی نیز برخوردار باشد.

کاربردهای نظامی: آرایش سریع، خودسازمان‌دهی و تحمل‌پذیری خطا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم باعث شده است تا یکی از گزینه‌ها در سیستم‌های نظامی باشند. از آنجایی که شبکه‌های حسگر دارای ویژگی‌هایی نظیر توپولوژی متراکم، در دسترس بودن و کم‌هزینه بودن هستند، تخریب و از بین رفتن یک گره در این شبکه‌ها تأثیری بر کل شبکه نمی‌گذارد، این امر موجب استفاده از این شبکه‌ها در میدان‌های جنگ و منطقه دشمن گردیده است. به‌عنوان مثال برای دنبال کردن حرکت نیروهای نظامی دشمن در میدان نبرد بدون در معرض خطر قرار گرفتن نیروهای نظامی، شناسایی و بررسی آماری تجهیزات

دشمن، نشانه‌گیری و سیستم‌های ردیابی هدف، تعیین خسارت جنگی، شناسایی و تشخیص حمله‌های شیمیایی و هسته‌ای، از این سیستم‌ها استفاده می‌گردد؛ بنابراین می‌توان گفت در آینده سیستم‌های C4ISRT^۱ کاربرد فراوانی خواهند داشت.

کاربردهای سلامتی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربردهای زیادی را در ارتباط با سلامتی دارا هستند از جمله اینکه، با وصل کردن گره‌های حسگر بی‌سیم به بیماران در بیمارستان، علائم حیاتی و موقعیت آن‌ها را در صورت حرکت آزادانه مشاهده نمود، همچنین می‌توان از شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای مواردی چون: تنظیم و کنترل میزان داروها، قرار دادن گره‌ها در لایه‌های زیرین پوست برای انجام مطالعات در مدت‌زمان طولانی، بررسی بیماران در منزل و کنترل سالمندان نیز، سود جست.

کاربردهای خانه‌های هوشمند: از حسگرهای بی‌سیم می‌توان برای راه‌اندازی و کنترل رفتار دستگاه‌های مختلف در خانه بهره برد. این ابزارها می‌توانند به هوشمندی خانه‌ها کمک کرده و موجب امنیت، کاهش مصرف انرژی و کاربری از راه دور بدون حضور صاحب‌خانه گردند.

در شکل ۱-۰ دسته‌بندی کاربردهای عمده شبکه‌های حسگر بی‌سیم نمایش داده شده است که می‌توان این دسته‌بندی‌ها را از جهات مختلف دیگری نیز بیان کرد؛ به این صورت که، ابتدا هدف از طراحی مشخص شود که، استفاده از شبکه‌های حسگر در ردیابی^۲ و نظارت^۳ موردنظر است (در کاربردهای نظامی و سلامت و تجارت و صنعتی و ...) و یا هدف، استفاده از شبکه‌های حسگر علاوه بر روی زمین در زیرزمین (مشاهده سفره‌های آبی

^۱ Command, Control, Communication, Computing, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance, and Targeting

^۲ Tracking

^۳ Monitoring

زیرزمین و ...) و زیر آب‌ها و اقیانوس‌ها (شبکه‌های نمونه‌برداری از اعماق اقیانوس‌ها، اعلام هشدار برای شناگران در مقابل خطرهای احتمالی، شناسایی مین‌های دریایی و ...) هست، بنابراین با تعیین هدف از طراحی شبکه‌های حسگر، می‌توان انواع کاربردهای مختلف را برشمرد.



شکل ۱-۲: کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم

۳-۱ ساختار حسگر بی سیم

مهم ترین عامل در انتخاب ساختار معماری در شبکه های حسگر بی سیم نوع کاربرد آنها هست، این موضوع موجب انواع محدودیت ها در اندازه، هزینه، میزان مصرف انرژی، توانایی ارتباطی و محاسباتی می گردد، به طور عمده توازن بین هزینه و توانایی های حسگرها مهم ترین فاکتور انتخاب هست [۵].

صرف نظر از نوع کاربرد شبکه های حسگر بی سیم، ساختار سخت افزاری یک گره از بخش های عمده زیر تشکیل یافته است:

➤ **کنترل گر:** این بخش توانایی پردازش داده های مربوطه و نیز انجام محاسبات ریاضی را دارا هست.

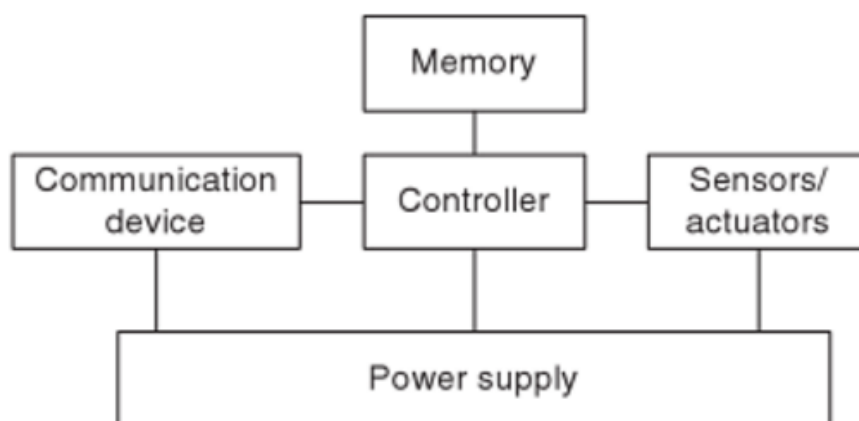
➤ **حافظه:** برای ذخیره داده های برنامه ها و داده های دریافتی استفاده می شود. معمولاً حافظه ذخیره داده های برنامه ها از داده های دریافتی جدا هست.

➤ **حسگرها و عمل کننده ها^۱:** این بخش ارتباطی ساختار با دنیای فیزیکی خارج آن هست. با این ابزار، گره قادر به حس کردن محیط پیرامون و عمل بر روی آن خواهد بود.

➤ **بخش ارتباطی:** این بخش ارسال و دریافت داده ها از طریق شبکه بی سیم را فراهم می آورد.

➤ **منبع تغذیه:** معمولاً از باتری به عنوان منبع انرژی استفاده می گردد، اما امکان شارژ مجدد و استفاده از منابع دیگری نظیر صفحات خورشیدی نیز وجود دارد.

^۱Actuator



شکل ۱-۳: جزای یک گره شبکه‌های حسگر بی‌سیم

۴-۱ چالش‌های مسیریابی

در ادامه به معرفی چالش‌های پیش روی طراحی و پیاده‌سازی پروتکل‌های

مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازیم.

۱-۴-۱ پارامترهای کیفیت خدمات:

تأخیر^۱: در برخی کاربردها، داده‌های دریافتی حسگر باید در مدت‌زمان محدودی به

چاهک ارسال شوند، این محدودیت می‌تواند سخت و بصورت تضمین‌شده باشد و یا نرم و

به صورت بهترین تلاش^۲ اعمال شود.

قابلیت اطمینان^۳: عبارت است از انتقال داده‌ها در شبکه با حداقل نرخ از دست

رفتن بسته‌ها^۴. قابلیت اطمینان در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در دو جنبه قابل بررسی است:

روی گره حسگر، روی ارتباطات درون شبکه. در شبکه‌های حسگر همواره امکان

^۱ Delay

^۲ Best Effort

^۳ Reliability

^۴ Packet Loss Rate

از کارافتادگی حسگرها بنا بر عوامل متعدد همچون تخلیه انرژی گره‌ها، فرسودگی بر اثر زمان طولانی کارکرد گره‌ها، آسیب فیزیکی به دلیل استفاده از گره‌ها در محیط‌های نامناسب و تداخلات محیطی و ... وجود دارد و در این شرایط نیز باید شبکه توانایی ادامه فعالیت داشته باشد بنابراین قابلیت اطمینان گره‌ها مطرح می‌شود. هم‌چنین در این شبکه‌ها همواره داده‌های در حال ارسال می‌توانند به دلیل عواملی چون: نویز پذیری بالای خطوط ارتباطی، تضعیف سیگنال به سبب فاصله بین گره‌ها، رخداد ازدحام در شبکه، تصادم، تداخل امواج، ... دچار خرابی شوند یا به صورت ناقص به مقصد برسند یا گم شده و به مقصد نرسند، این مسئله نیز اهمیت بررسی قابلیت اطمینان بر روی ارتباطات درون شبکه را مشخص می‌کند.

تغییرات تأخیر^۱: در کاربردهای بلادرنگ محدودیتی برای مقدار تغییر در تأخیر در نظر گرفته می‌شود. تغییرات زیاد در مقدار تأخیر باعث قطع و وصل شدن زیاد در داده‌های چندرسانه‌ای می‌گردد

پهنای باند^۲: داده‌های چندرسانه‌ای برخلاف داده‌های عددی دارای حجم زیادی هستند؛ بنابراین تأمین پهنای باند موردنیاز برای انتقال این داده‌ها یکی از چالش‌ها در انتخاب مسیر مناسب هست.

۱-۴-۲ مصرف بهینه انرژی

از آنجایی که اغلب حسگرهای بی‌سیم با باتری‌هایی با ظرفیت محدود و غیرقابل تعویض ارائه می‌شوند، مصرف انرژی یکی از چالش‌های اصلی و مهم‌ترین عامل برای تعیین طول عمر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هست. وظایف یک گره در محیط، تشخیص

^۱ Jitter

^۲ Bandwidth

رخدادها^۱، پردازش سریع داده‌ها و سپس انتقال داده‌ها هست. از این رو مصرف انرژی به سه بخش تقسیم می‌شود: حس کردن^۲، پردازش داده و ارتباطات بی‌سیم. در میان سه بخشی که در گره حسگر انرژی مصرف می‌کنند، بیشترین انرژی در ارتباطات مصرف می‌شود.

۳-۴-۱ حرکت

تحرك حسگرها و چاهک‌ها می‌تواند در این نوع شبکه‌ها در نظر گرفته شود، در برخی پروتکل‌ها نظیر [۶] قابلیت حرکت برای حسگرها فرض شده است و در برخی دیگر روش‌ها مانند [۷] از قابلیت‌های حرکتی چاهک‌ها برای بهینگی در پارامترهایی نظیر انرژی و تأخیر استفاده شده است

۴-۴-۱ عبور از چاله‌ها

چاله زمانی رخ می‌دهد که ارتباط بخشی از شبکه با چاهک قطع شود، این اختلال می‌تواند به دلایل مختلفی در مسیر رخ دهد، عمده این عوامل عبارتند از: حرکت یک مانع و قرار گرفتن آن در مسیر ارتباطی، تداخل^۳ بیش‌از اندازه در یک ناحیه، اتمام باتری یک یا چند حسگر و همچنین بروز ازدحام در حسگرهای مسیر. از این رو پروتکل‌هایی که قادر به دور زدن این چاله‌ها و مسیریابی مجدد هستند از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردارند و کاربردهای متنوعی خواهند داشت.

۵-۱ کیفیت خدمات

کیفیت خدمات (QoS)^۴ عبارتی است که شامل معانی و دیدگاه‌های متفاوتی هست و ممکن است افراد و مجامع مختلف کیفیت خدمات را با عبارات گوناگون تعریف و تفسیر

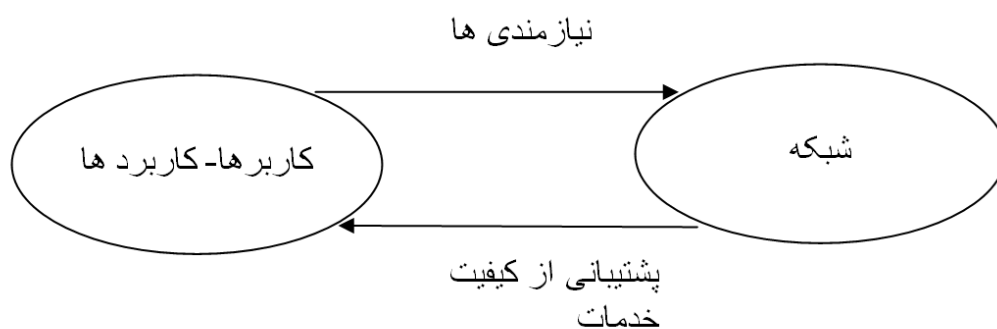
^۱ Events

^۲ Sensing

^۳ Interference

^۴ Quality of Service

نمایند. کیفیت خدمات را می‌توان از دو دیدگاه کاربر و شبکه موردبررسی قرار داد [۸، ۹]. از دیدگاه کاربر کیفیت خدمات، به کیفیتی که توسط کاربر یا برنامه کاربری مشاهده می‌گردد، گفته می‌شود. درحالی‌که از دیدگاه شبکه، کیفیت خدمات، یک مقیاسی برای کیفیت خدماتی است که توسط شبکه به کاربر عرضه می‌شود. هر کاربر و یا برنامه کاربردی دارای مجموعه‌ای از نیازمندی‌ها است که بدون اطلاع از نحوه پشتیبانی از کیفیت خدمات، انتظار دارد این نیازمندی‌ها توسط شبکه برآورده شود و تنها تأثیرگذاری خدمات ارائه‌شده بر کیفیت برنامه‌های خود را خواستار است؛ اما از دیدگاه شبکه، با بررسی نیازمندی‌های کاربر و سازوکارهای کیفیت خدمات، شبکه سعی در برآورده کردن نیازهای کیفیت خدمات را دارد.



شکل ۱-۴: ترسیم مدل ساده‌ای از کیفیت خدمات

نیازمندی‌های کیفیت خدمات یا پارامترهای انتها به انتها کیفیت خدمات^۱ برحسب برنامه موردنظر تغییر می‌کنند و مدل‌های مختلف شبکه به دلیل مشخصات و ویژگی‌های مخصوص به خود باعث ایجاد محدودیت‌هایی در پشتیبانی از کیفیت خدمات می‌شوند. خصوصیات شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیز باعث ایجاد محدودیت‌های فراوانی در

^۱End to End QoS Parameters

پشتیبانی از کیفیت خدمات می‌شود و این محدودیت‌ها باعث می‌شود که نتوان از سازوکارها و الگوریتم‌های کیفیت خدمات در دیگر شبکه‌ها، در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده نمود. در شبکه‌های اقتضایی^۱ نیز روش‌های کیفیت خدمات بر اساس کشف مسیر انتها به انتها، رزرو منابع در طول مسیر کشف‌شده و بازیابی مسیر به دلیل تغییر توپولوژی هست و این روش‌ها برای کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل محدودیت‌های این نوع از شبکه، مناسب نیست البته نوع خاصی از شبکه‌های حسگر با گره‌های متحرک نیز وجود دارد که تشخیص مناسب بودن روش‌های ارائه کیفیت خدمات در شبکه‌های اقتضایی، برای این نوع از شبکه‌ها نیازمند بررسی بیشتر هست که خارج از مبحث این پایان‌نامه است.

برای تعریف کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیز تعاریف مختلفی ارائه شده است، در جایی کیفیت خدمات در این نوع شبکه تأخیر انتها به انتها بسته‌ها عنوان شده [10] و راه‌کاری که برای فراهم کردن کیفیت خدمات با این تعریف ارائه شده نیز بسته‌های حساس به تأخیر را در گره مرکزی با حق تقدم بالاتر و سریع‌تر دریافت و پردازش می‌کند؛ بنابراین از پروتکل مسیریابی با هزینه و انرژی کارآمد، نیازمندی تأخیر انتها به انتها را فراهم می‌کند. تعریف‌های متفاوت دیگری نیز توسط محققین بیان شده است: تأخیر انتها به انتها و گم‌شدن بسته‌های داده [۱۱]، قابلیت اطمینان [12-14]، قابلیت تشخیص تعداد بهینه گره‌های حسگر روشن که باید اطلاعات کافی را به‌سوی گره مرکزی ارسال نمایند [۱۵، ۱۶]، منطقه تحت پوشش به‌طوری که تمام رویدادهای غیرمنتظره تشخیص داده شود [۱۷] تأخیر، نرخ گم‌شدن داده‌های حس شده و نرخ جریان داده مورد انتظار که از گره‌های حسگر دریافت می‌شوند [۱۸] و ...، اما هیچ‌یک از این تعاریف، تعریفی کامل از کیفیت خدمات نیست و این تعاریف مربوط به سطح معینی از شبکه و حالت‌های خاص

^۱ Ad hoc network

می‌باشند .

۱-۵-۱ محدودیت‌های کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

از آنجاکه شبکه‌های حسگر بی‌سیم با محیط‌های مختلف در ارتباط هستند با محدودیت‌های زیر نیز روبرو هستند:

۱- محدودیت در منابعی چون انرژی، حافظه، ظرفیت میانگیر^۱، توان پردازشی و محدود بودن توان ارسال هست؛ اما از این موارد انرژی بیشترین اهمیت را دارا هست. از آنجاکه گره‌ها با باتری غیرقابل شارژ و جایگزینی کار می‌کنند و به‌صورت مستقل در محیط توزیع شده‌اند، انرژی بسیار محدود هست. این محدودیت انرژی باعث می‌شود تا برای ارائه کیفیت خدمات توجه به نکاتی چون کاهش هزینه‌های ارسال و دریافت اطلاعات، ساده بودن، استفاده از الگوریتم‌ها فشرده محاسباتی و ...، ضروری باشد.

۲- علاوه بر انرژی، تأمین پهنای باند موردنیاز نیز، غیرقابل چشم‌پوشی است؛ زیرا ترافیک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌تواند بی‌درنگ^۲ و یا با زمان غیرواقعی باشد و امکان اختصاص پهنای باند موجود تنها به ترافیک‌هایی که کیفیت خدمات در آن‌ها مهم است امکان‌پذیر نیست و این محدودیت ایجاد می‌کند.

۳- شبکه‌های حسگر بی‌سیم این قابلیت را دارند که در صورت رخداد پدیده غیرقابل پیش‌بینی، داده‌های خود را به‌صورت غیر متناوب ایجاد و ارسال کنند درحالی‌که برای داده‌هایی که از قبل پیش‌بینی رخداد آن‌ها وجود داشته است، ترافیک به‌صورت متناوب ایجاد می‌شود؛ بنابراین با توجه به اینکه در اکثر کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ترافیک از سمت تعدادی گره حسگر به‌سوی تعداد زیادی گره مقصد در جریان

^۱ Buffer

^۲ Real Time

هست امکان ایجاد ترافیکی با ترکیب داده‌های متناوب و غیر متناوب وجود دارد و طراحی سازوکار ارائه کیفیت خدمات نیازمند در نظر گرفتن این موضوع هست.

۴- در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ممکن است هم‌زمان نیاز به ترکیبی از انواع حسگرها در یک شبکه باشد مانند حسگر دما، فشار، نور، رطوبت، صدا ... که هر یک نرخ نمونه‌برداری متفاوت و داده‌های متفاوت داشته باشند که این وجود مجموعه‌ای از حسگرها محدودیت‌هایی را در ارائه کیفیت خدمات به همراه دارد [۸].

۵- پیش‌تر گفتیم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با مقیاس گسترده‌تر، ممکن است چندین گره چاهک درازای تعداد زیادی از گره‌ها داشته باشیم، حال ممکن است در چنین شبکه‌هایی هر کدام از گره‌های اصلی چاهک، نیازمندی‌های خاص مربوط به خود را داشته باشند و از تعدادی گره اطلاعات متفاوتی را بخواهند. به‌عنوان مثال یک گره چاهک از تعداد اطلاعات مربوط به نور را بخواهد در صورتی که گره چاهک دیگر از تعدادی گره اطلاعات تغییر فشار را بخواهد بنابراین ممکن است در یک شبکه به نیازهای کیفیت خدمات در سطح‌های مختلف از کیفیت، نیاز باشد و شبکه باید قابلیت پشتیبانی را داشته باشد.

۶- در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل این که ممکن است چندین گره اطلاعات یک رویداد را ارسال کنند، باید از سازوکارهای افزایش قابلیت اطمینان در شبکه استفاده کرد که خود این سازوکارها موجب پیچیدگی طراحی کیفیت خدمات و افزایش تأخیر هست.

۷- توپولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم بنا بر شرایطی چون: خرابی یک گره، خرابی ارتباط بی‌سیم بین دو یا چند گره، حرکت و تغییر وضعیت گره‌ها و یا تغییر وضعیت محیط، دچار تغییر شود و این نیاز به پویایی شبکه ارائه کیفیت خدمات را با مشکل و محدودیت‌هایی روبرو خواهد کرد.

۸- در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به دلیل محدودیت انرژی به‌منظور بالا بردن طول عمر شبکه نیاز به پیاده‌سازی سازوکارهای کاهش مصرف انرژی چون توزیع مصرف انرژی بر روی همه گره‌های شبکه به‌جای تنها چند گره خاص، وجود دارد که این امر یکی از محدودیت‌های فراهم کردن کیفیت خدمات در شبکه را موجب می‌شود.

۶-۱ دست آورد پایان‌نامه

در این پایان‌نامه قصد داریم تا پس از بررسی الگوریتم‌های مسیریابی موجود، روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه دهیم که با توجه به ساختار و معماری شبکه‌های حسگر بی‌سیم قادر به تأمین کیفیت خدمات در انتقال داده‌ها در این شبکه‌ها باشد همچنین الگوریتم مسیریابی از ویژگی کاهش توأم تأخیر و انرژی برخوردار است

۷-۱ ساختار پایان‌نامه

در این فصل ضمن بیان مقدمه‌ای بر آنچه در این تحقیق موردبررسی و پژوهش قرار خواهد گرفت، به معرفی شبکه‌های حسگر بی‌سیم و مفهوم کیفیت خدمات در این شبکه‌ها پرداخته شد. در فصل دوم سعی می‌کنیم تا روش‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند موجود در شبکه‌های حسگر بی‌سیم که معیارهای کیفیت خدمات را در نظر داشتند، به‌طور مختصر معرفی و بررسی کنیم. در فصل سوم پس از معرفی کامل‌تر الگوریتم ژنتیک، الگوریتم پیشنهادی را بررسی و جزئیات آن را معرفی می‌کنیم. به جهت ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم‌های پیشین، در فصل چهارم مقایسه نتایج شبیه‌سازی را بیان کرده‌ایم.

۲ فصل دوم:

بررسی الگوریتم‌های موجود

در این بخش به بررسی و دسته‌بندی الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازیم. در طراحی این شبکه باید به نکات دیگری نسبت به سایر شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم پیشین توجه داشت. در این شبکه‌ها با توجه به تعداد زیاد گره‌های شبکه، اختصاص IP به گره‌ها امکان‌پذیر نیست، لذا روش‌های کلاسیک مسیریابی قابل استفاده نیستند. با توجه به تفاوت‌ها و خصوصیات شبکه‌های حسگر بی‌سیم، الگوریتم‌های بسیار زیادی برای این شبکه‌ها ارائه شده‌اند. در این الگوریتم‌ها به دو نکته مهم توجه خاص شده است: اول ساختار خاص این شبکه‌ها و فاکتورهای بهینه‌سازی و دوم، نوع کاربرد این شبکه‌ها. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان الگوریتم‌های مسیریابی را با روش‌های مختلف دسته‌بندی کرد که ما در این فصل از پایان‌نامه ابتدا روش‌های مسیریابی را به صورت زیرگروه‌هایی از دو گروه اصلی مبتنی بر ساختار شبکه و مبتنی بر عملکرد پروتکل‌ها، مطرح می‌کنیم و در ادامه از بین روش‌های هوشمند که ارائه کیفیت خدمات را ملاک طرح الگوریتم مسیریابی قرار دادند، روش‌های مسیریابی موجود الهام گرفته از الگوریتم ژنتیک را مطرح می‌کنیم.

۱-۲ دسته‌بندی انواع روش‌های مسیریابی

۱-۱-۲ روش‌های مبتنی بر ساختار:

در این بخش، زیرگروه‌های روش‌های مسیریابی که به بررسی وضعیت و آرایش پروتکل‌های مسیریابی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازند، در سه دسته قرار می‌گیرند:

۱- مسیریابی بدون اولویت^۱ که تمام گره‌های حسگر دارای یک نوع وظیفه و کارایی

هستند

۲- مسیریابی سلسله مراتبی^۲ که در آن گره‌های حسگر نقش‌های متفاوتی ایفا می‌کنند

۳- مسیریابی بر مبنای موقعیت مکانی^۳ که از اطلاعات مکانی گره‌ها برای مسیریابی

استفاده می‌شود.

۱-۱-۱-۲ مسیریابی بدون اولویت

در این پروتکل مسیریابی، تمامی گره‌ها دارای وظایف یکسانی در شبکه بوده و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به انتقال اطلاعات خود با گره چاهک یا همان ایستگاه پایه می‌پردازند؛ بنابراین گره چاهک نقش مهمی در برقراری ارتباط با تعداد زیادی از گره‌های حسگر ایفا می‌کند. هر گره به تشخیص نزدیک‌ترین گره‌های مجاور و انتقال اطلاعات بر اساس حالت مسیریابی مرکزی اطلاعات^۴ می‌پردازد. عمده مزیت مسیریابی بدون اولویت یا مسطح سادگی آن هست، ضمن این‌که این پروتکل از مقیاس‌پذیری خوبی نیز برخوردار است. طول عمر شبکه حداکثر زمانی تعریف می‌شود که الگوریتم قادر باشد تا طی یک مسیریابی مالتی هاب چندگانه، در برقراری تعادل بین، میزان بار (ظرفیت) حمل شده با محدود نمودن سطوح توانی که در آن گره‌های حسگر به انتقال ارتباطات می‌پردازند، مفید واقع شود. نقطه‌ضعف اصلی این نوع پروتکل مسیریابی این است که عدالت در میان گره‌ها تضمین شده نیست و این خود، زمانی که گره‌های حسگر به‌طور یکنواخت در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توزیع شده‌اند، منجر به ایجاد hotspot^۵ می‌شود. از این‌رو زمانی که تنها یک

^۱ Flat based routing

^۲ Hierarchal based routing

^۳ Location based routing

^۴ data centric routing mode

^۵ اصطلاحی است که به برقراری ارتباط کاربران با شبکه بی‌سیم در مکان‌های عمومی اطلاق می‌گردد

گره چاهک در شبکه وجود دارد، انرژی گره‌هایی که چاهک را احاطه می‌کنند با سرعت بالایی مصرف‌شده و این خود منجر به زوال و تحلیل طول عمر شبکه می‌شود. الگوریتم پخش سیل‌آسای اطلاعات^۱، پروتکل مسیریابی بر مبنای مذاکره^۲ و SPIN^۳ و روش انتشار جهت‌دار (DD)^۴ و ... از جمله پروتکل‌های مسیریابی مسطح یا بدون اولویت به شمار می‌رود [۱۹].

۲-۱-۱-۲ مسیریابی سلسله‌مراتبی:

در این پروتکل مسیریابی وظایف، قابلیت و کارکردهای مختلفی به تمام گره‌ها اختصاص داده می‌شود. تمامی گره‌ها وظایف متعددی در شبکه ایفا می‌کنند. شبکه به تعدادی خوشه (گروه)^۵ تقسیم می‌شود. هر خوشه از تعدادی گره تشکیل شده و تنها یک گره برای هدایت خوشه انتخاب می‌شود. پیام‌ها در شبکه، از گره‌ها به هدایتگر (سرخوشه)^۶ خوشه ارسال شده و هدایتگر خوشه نیز، این پیغام را به چاهک منتقل می‌کند. رهبر گروه به‌طور دوره‌ای به‌منظور کاهش انرژی مصرفی شبکه و افزایش طول عمر شبکه گزینش می‌شود.

شهرت این روش، در بهینه‌سازی ارسال اطلاعات و مقیاس‌پذیری آن است. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از این روش می‌توان، ضمن فشردن ساختار اطلاعات، بهینه‌سازی انرژی را نیز انجام داد. در این نوع از مسیریابی گره‌هایی که انرژی بالاتر دارند می‌توانند در پردازش و فشردن ساختار اطلاعات بکار برده شوند و گره‌هایی که انرژی پایین‌تر دارند مسئول دریافت اطلاعات از محیط باشند و با این روش با ایجاد خوشه و تقسیم‌کار،

^۱ Flooding

^۲ Gossiping

^۳ Sensor Protocol for Information via Negotiation

^۴ Directed Diffusion

^۵ Cluster

^۶ cluster head

افزایش طول عمر شبکه و بهینه‌سازی انرژی محقق خواهد شد؛ بنابراین در این روش مسیریابی، گره‌ها در دو سطح قرار می‌گیرند، تعدادی از گره‌ها در رأس خوشه و عده‌ای هم اعضای خوشه قرار می‌گیرند.

مشکل عمده^۱ این پروتکل مصرف زیاد توان (نیروی برق) هست. مزیت عمده^۲ مسیریابی سلسله مراتبی جمع‌آوری اطلاعات به‌گونه‌ای است که اطلاعات گره‌ای در خوشه با رهبر خوشه ادغام شده و این فرآیند خود منجر به کاهش تکرار داده‌ها می‌شود. نقص‌های بسیاری نظیر تبدیل به hotspot در نتیجه انتخاب رهبر گروه، لزوم انرژی مازاد رهبر گروه، پیچیدگی آرایش به‌منظور متعادل‌سازی مصرف انرژی و فقدان مقیاس‌پذیری است که منجر به افزایش پردازش پیام‌ها در گروه‌ها می‌شود. برخی از پروتکل‌های مسیریابی سلسله مراتبی: مسیریابی بر مبنای مصرف پایین انرژی و خوشه‌بندی دینامیک شبکه^۱، پروتکل شبکه سنسوری مؤثر در انرژی حساس به آستانه^۲، پروتکل ترکیبی که تناوب یا مقادیر آستانه استفاده شده در پروتکل TEEN را بر طبق نیازهای کاربر و نوع کاربردها تغییر می‌دهد^۳ و ...

[۲۰]

۳-۱-۱-۲ مسیریابی بر مبنای موقعیت مکانی:

در این پروتکل مسیریابی، از جایگاه گره‌های حسگر جهت بهره‌برداری از اطلاعات مسیر در شبکه استفاده می‌شود. تمامی گره‌های شبکه توسط مکانی که در آن قرار می‌گیرند شناسایی می‌شود. اطلاعات مکانی استفاده شده برای جهت‌یابی، گزینش و حفظ مسیر انتخابی جهت ارسال بسته‌های کوچک اطلاعاتی به کار می‌رود که خود این اطلاعات مکانی با محاسبه^۱ مسافت موجود میان گره‌ها و تخمین سطوح انرژی مصرفی به دست

^۱Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

^۲Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (TEEN)

^۳Adaptive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (APTEEN)

می‌آید. روش‌های مدیریت توان به این صورت است که جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه، برخی از گره‌ها را در وضعیت استراحت قرار می‌گیرند و در حالت خنثی به کار گرفته می‌شوند. مزیت استفاده از الگوریتم مسیریابی بر مبنای اطلاعات موقعیت مکانی این است که با کاهش سربار پیام‌های کنترلی در شبکه، کنترل شبکه ضمن ساده‌سازی، بهبود نیز می‌یابد. با این وجود ضرر عمده^۱ مسیریابی بر مبنای موقعیت مکانی پیچیدگی طراحی وضعیت استراحت گره‌هاست. به‌عنوان مثال‌هایی از این نوع مسیریابی می‌توان از مسیریابی جغرافیایی و آگاه از انرژی^۱ و مسیریابی بدون وضعیت محیط اشباع^۲ را نام برد [۲۱].

۲-۱-۲ روش‌های مبتنی بر عملکرد پروتکل‌ها

در این بخش، زیرگروه‌های روش‌های مسیریابی که با توجه به کارکرد مسیریابی‌های مختلف بر مبنای تنوع پروتکل‌های مورد استفاده، مطرح می‌شود و عملکرد پروتکل‌های مختلف مسیریابی بحث شده است [۲۱].

۱-۲-۱-۲ مسیریابی مبتنی بر مذاکره^۳

این پروتکل مسیریابی با تبادل تعدادی پیام‌های مذاکره‌ای میان گره‌های به‌هم‌پیوسته کار می‌کند؛ و عمده مزیت آن کاهش تکرار اطلاعات و ممانعت از تکثیر اطلاعات به شمار می‌آید [۲۲]. هدف از این دسته پروتکل‌ها انتقال اطلاعات به صورت هوشمند، با ارسال سیگنال‌های ارتباطی، در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هست. این سیگنال‌ها عبارتند از (ADV) که وقتی حسگری اطلاعات جدید پیدا می‌کند، این سیگنال شامل

^۱Geographical and Energy Aware Routing (GEAR)

^۲Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

^۳Negotiation based routing

شبه‌اطلاعات^۱ را به همسایگانش انتقال می‌دهد. ۲) REQ که در هنگام درخواست اطلاعات از جانب یک حسگر، ارسال می‌شود. ۳) DATA که شامل اطلاعات حقیقی است. انواع الگوریتم‌های SPIN می‌توانند در این خانواده نیز قرار گیرند [۲۳].

۲-۱-۲-۲ مسیریابی مبتنی بر مسیرهای چندگانه^۲:

این نوع پروتکل مسیریابی بر مبنای یافتن دیگر مسیرهای ممکن و مؤثر میان مبدأ و چاهک به منظور افزایش کارکرد مسیریابی و کاهش مصرف توان در شبکه حسگر بی‌سیم، کار می‌کند. از مزایای این دسته از پروتکل‌ها می‌توان، حفظ سطح توان و طول عمر شبکه، تحمل پذیری خطا و بهبود سریع مسیرهای شکسته را نام برد. عملکرد شبکه به‌طور مؤثر با کاهش تأخیر انتقال، افزایش یافته و همچنین قابلیت اطمینان شبکه نیز با توجه به وجود هزینه‌های سربار تضمین خواهد شد [۲۴]. معایب این دسته از پروتکل‌ها این است که مصرف انرژی در نتیجه ارسال پیام‌های دوره‌ای، برای زنده نگه‌داشتن مسیرها در شبکه، باعث بالا رفتن سربارها در شبکه می‌شود، ضمن این‌که ایجاد و حفظ شبکه‌های درختی از حیث اقتصادی گران است. ۳) MMSPEED نمونه‌ای از این پروتکل‌ها است که ضمن به حداقل رساندن سربارها در شبکه، نیازهای کیفیت خدمات در شبکه را نیز از دیدگاه قابلیت اطمینان برآورده می‌کند.

۲-۱-۲-۳ مسیریابی مبتنی بر صرف^۴:

این پروتکل مسیریابی بر مبنای یکسری جستجو بین منابع و چاهک برای تشخیص مسیرهای پیموده، کار می‌کند. گره مقصد یک درخواست یا پرس‌وجو درباره چیزی که خواستار آن است را، در سرتاسر شبکه ارسال می‌کند و گره‌ای که با این خواسته‌ها مطابقت

^۱Meta Data

^۲ Multi path and Multi SPEED (MMSPEED)

^۴ Query based routing

داشته باشد، یک پیغام را به گره آغازکننده این جستجو ارسال می‌کند. مسیر کارآمد، توسط اطلاعات بروز شده مربوط به هر مسیر در گره‌های شبکه، کشف و ساخته می‌شود [۲۵]. حذف تکرار و در نتیجه کاهش تعداد انتقال و ارسال در سراسر شبکه از مزایای این نوع پروتکل هست. در کاربردهایی مانند نظارت بر محیط‌زیست که نیاز به انتقال حجیم داده‌های پیوسته وجود دارد، این روش بهترین راه‌حل ممکن نیست و این از معایب رویکرد مبتنی بر پرس‌وجو به شمار می‌آید. پروتکل‌های SPIN و DD می‌توانند به‌عنوان نمونه‌هایی از این دست پروتکل نیز، محسوب شوند.

۴-۲-۱-۲ مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات:

پروتکل‌های مسیریابی که کیفیت خدمات را ملاک قرار می‌دهند، سعی در ایجاد تعادل بین محدودیت‌های شبکه برای برآورده کردن معیارهای کیفیت خدمات را دارند، مانند مصرف انرژی، کیفیت داده‌ها، تأخیر، سطح اولویت و پهنای باند و غیره [۲۶]. از معایب این پروتکل‌ها این است که در اکثر موارد نیاز به مسیرهای چندگانه در سطح شبکه است و ایجاد و حفظ مسیرهای چندگانه بر روی شبکه نیازمند هزینه زیادی است همچنین تأخیر حاصل از برآورده کردن نیازهای کیفیتی نیز مطرح است ضمن این‌که ممکن است فرآیند رسیدن به معیارهای تعیین‌شده میزان گسترده‌ای از انرژی را مصرف نماید. از آنجاکه ما در این پایان‌نامه نیز، سعی در برآورده نمودن معیارهای کیفیت خدمات داریم و به جهت مقایسه نمونه‌هایی از این نوع پروتکل‌ها را بیان می‌کنیم.

۴-۲-۱-۲ مسیریابی منسجم یا همسان^۱

دو نمونه از فن‌های پردازش داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم عبارتند از مسیریابی مبتنی بر پردازش داده^۱ منسجم و غیر منسجم. در پردازش داده^۱ غیر منسجم، گره‌ها

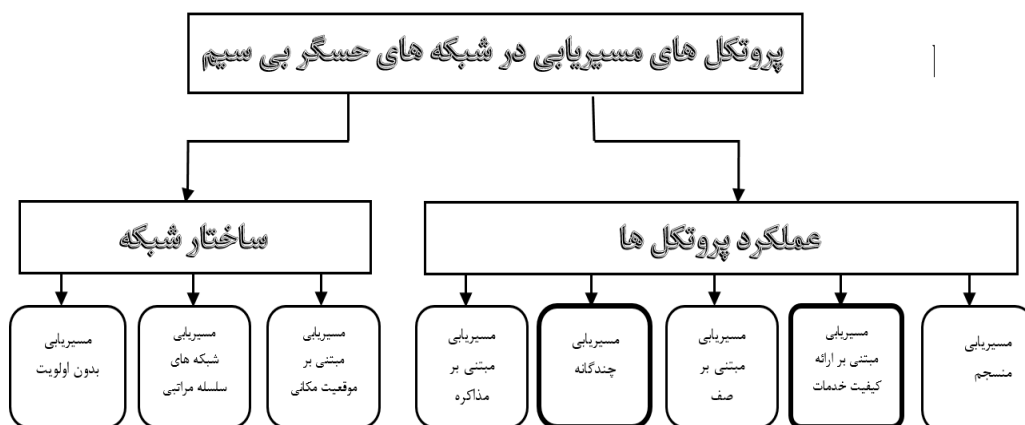
^۱ Coherent-based routing

به صورت محلی، داده را پیش از ارسال به گره^۱ دیگر پردازش می کنند؛ و آن ها را برای پردازش بعدی آماده می کنند. گره هایی که پردازش بعدی را انجام می دهند، جمع کننده^۱ نامیده می شوند. در مسیریابی منسجم، داده ها بعد از یک پردازش حداقل، به جمع کننده ها ارسال می شوند. پردازش حداقل به طور معمول شامل برچسب زنی زمانی و توقیف تکراری ها هست. برای اجرای مسیریابی بهره ور انرژی^۲، پردازش منسجم به طور معمول انتخاب می شود. مزیت مسیریابی پردازش اطلاعات منسجم بهره ور انرژی است که با توجه به پیش پردازش های صورت گرفته بر روی داده ها و جمع آوری آن ها، به وجود می آید. در نهایت گره مرکزی به اصلاح پردازش اطلاعات می پردازد. اشکال این نوع مسیریابی این است که گره مرکزی باید منابع انرژی و توانایی های محاسبات به اندازه کافی را دارا باشد.

عملکرد روش غیر منسجم بار ترافیکی نسبتاً پایینی دارد؛ به عبارت دیگر، از آنجایی که پردازش منسجم جریان داده^۱ طولانی ای ایجاد می کند، بازده انرژی باید با یک روش بهینه سازی شود. پردازش غیر منسجم، به این صورت انجام می شود که، ابتدا یک هدف شناسایی می شود و آن هدف جمع آوری داده و پیش پردازش است. هنگامی که یک گره تصمیم می گیرد تا در یک عملکرد مشارکتی شرکت کند، این گره وارد مرحله دوم می شود و این مسئله را به تمام گره های همسایه اطلاع می دهد. این کار باید تا حد ممکن زود انجام شود به نحوی که هر حس گر یک آگاهی محلی از توپولوژی شبکه پیدا کند. مرحله سوم انتخاب گره^۱ مرکزی است. به دلیل اینکه گره^۱ مرکزی به منظور انجام پردازش های پیچیده تر اطلاعاتی، انتخاب می شود، این گره باید مقدار انرژی و ظرفیت محاسباتی کافی داشته باشد [۲۶].

^۱ aggregator

^۲ energy-efficient



شکل ۱-۲: انواع روش های مسیریابی شبکه های حسگر بی سیم

۱-۲ صورت های مختلف از کاربرد محاسبات نرم در طراحی الگوریتم های

مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم

الگوریتم های هوشمند از آنجاکه برای ارائه رفتار مناسب، در محیط های قابل تغییر و پیچیده طراحی شده اند، با توجه به ساختار ذاتی شبکه های حسگر بی سیم (امکان بروز اشتباه در ارتباطات بین شبکه ای، توپولوژی متغیر،...) می توانند به کار گرفته شوند.

نکته قابل توجه این است که هرکدام از این الگوریتم های هوشمند برای رفع مشکل خاص و برای مقابله به رویدادی خاص، طراحی شده اند، بنابراین باید در شبکه های حسگر بی سیم نیز بنا بر نیاز و با توجه به توانایی الگوریتم، مورداستفاده قرار گیرند. برای شرح بهتر به عنوان مثال، الگوریتم ژنتیک^۱ و شبکه های عصبی^۲، جواب های متمرکزتری نسبت به سایر الگوریتم های هوشمند، ارائه می دهند اما این درازای پردازش های سنگین تر است و همچنین در صورتی که یک مرحله خوشه بندی پیش تر انجام گرفته باشد، بهترین انتخاب ها به منظور

^۱Genetic Algorithm(GA)

^۲Neural Networks(NN)

توسعه الگوریتم و رسیدن به جواب متمرکز هستند. روش‌های مبتنی بر منطق فازی^۱ نیز در بحث مسیریابی می‌تواند در مواردی که نیاز به طبقه‌بندی سرخوشه‌ها یا لینک‌ها از نظر کیفیت هست، مورد استفاده قرار گیرد اگرچه ممکن است جواب‌های بهینه را به همراه نداشته باشد. به کارگیری الگوریتم مورچگان^۲ نیز با وجود انعطاف‌پذیری بالایی که به همراه دارد، اما با توجه به حرکات روبه‌جلو و عقب زیاد مورچه‌ها، باعث ایجاد ترافیک اضافی خواهد شد. روش‌های مبتنی بر یادگیری تقویتی^۳ هم می‌توانند در مواردی که کاهش هزینه‌ها هدف قرار گرفته است مورد توجه قرار گیرند.

۲-۱-۱ یادگیری تقویتی

از این الگوی محاسبه نرم جهت افزایش عملکرد سیستم با استفاده از بازخورد و روش پاداش ساده برای اطلاع از واکنش و رفتار سیستم استفاده می‌شود. جایگاه قرارگیری گره‌های حسگر در شبکه و فاصله گره چاهک به میزان قابل توجهی میزان مصرف انرژی در هر گره را تحت الشعاع قرار می‌دهد. هر گره نیازمند مصرف انرژی اقتباسی^۴ و الگوریتم بهینه‌سازی برای افزایش عملکرد و حفظ انرژی شبکه است. نظریه یادگیری تقویتی قادر به ایجاد راه‌حل‌های بهتر برای توزیع^۵ و موضوعاتی نظیر خوشه‌بندی کردن و روش‌های مسیریابی با حداقل ارتباط و نیازهای محاسباتی است [۲۷]. الگوریتم یادگیری تقویتی به گره‌ها در افزایش سطح توان و حداقل رسانی تأخیر سیستم توزیعی کمک می‌کند. بیان و لیتمن [۲۸] نخستین افرادی بودند که از الگوریتم یادگیری در فن‌های مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم استفاده کردند. آن‌ها در مقالات خود به توصیف الگوریتم مسیریابی یادگیری

^۱Fuzzy Logic(FL)

^۲Ant Colony Optimization(ACO)

^۳Reinforcement Learning(RL)

^۴adaptive energy consumption

^۵distributing

Q برای مسیریابی بسته‌های کوچک استفاده کردند. به‌گونه‌ای که یک بخش یادگیری تقویتی درون هر گره از شبکه در حال تعویض^۱ جای می‌گیرد. در این روش به این دلیل که تنها از ارتباطات محلی توسط هر گره برای کسب اطلاعات دقیق استفاده می‌شود، تصمیمات مسیریابی منجر به حداقل رساندن زمان تحویل می‌شود. مسیریابی Q نسبت به یک الگوریتم غیر منطبق و بر اساس کوتاه‌ترین مسیرهای از قبل محاسبه‌شده برتری دارد و حتی زمانی که ابعاد انتقادی شبیه‌سازی نظیر بارگیری شبکه به‌طور دینامیک تغییر می‌کند، به‌طور مؤثر مسیریابی می‌شود. دوئل و همکاران در [۲۹] ظرفیت استفاده از معیارهای آگاه از انرژی را در یادگیری تقویتی برای الگوریتم مسیریابی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد مطالعه قرار داده‌اند و نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که (۱) الگوریتم پیشرفته^۲ می‌تواند طول عمر شبکه را بدون نیاز به اطلاعات یا ارتباطات اضافی، به‌وسیله انتشار اطلاعات انرژی متعلق به همسایه‌های مستقیم در سرتاسر شبکه، افزایش دهد. (۲) وضعیت جغرافیایی گره‌ها و توپولوژی شبکه تأثیر عمده بر عملکرد الگوریتم دارد. (۳) تعادل بارگیری^۳ در الگوریتم مسیریابی منجر به افزایش طول عمر شبکه شده و این در حالی است که تنها نیازمند اطلاعات مربوط به انرژی یک همسایه مستقیم با حسگر است. میهای لو در [۳۰] از یک الگوریتم یادگیری تقویتی باهدف افزایش طول عمر مستقل شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کاهش تأخیر در حالت متمرکز استفاده شده است. یکی از چالش‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم علاوه بر انرژی محدود حسگرها، نیاز به کنترل غیرمتمرکز^۴ است. جهت غلبه بر این چالش، نویسنده با بهبود گروه‌های کوچک از حسگرها در شبکه سعی می‌کند تا کل شبکه را نیز در نهایت بهبود ببخشد. نتیجه بررسی‌های آنان نشان داد که با

^۱switching network

^۲enhanced algorithm

^۳load balancing

^۴decentralized control

استفاده از الگوریتم یادگیری تقویتی، گره‌های موجود در شبکه حسگر بی‌سیم قادر به ذخیره انرژی و کاهش تأخیر شبکه هستند. فورستر و همکارانش این بار در [۳۱] برای شبکه‌های با چند چاهک، به توصیف چگونگی اشتراک‌گذاری اطلاعات محلی یک گره با گره‌های مجاورش بدون هیچ سربراری پرداخته است و یادگیری تقویتی را برای شبکه‌های با کاربران متحرک به کار برده است. این مقاله [۳۲] به ارائه ابعاد جدید شبکه حسگر برای بررسی ایستگاه‌های پایه پراکنده و چندگانه پرداخته که اطلاعاتی از شبکه جمع‌آوری می‌کند. در مقاله‌های [۳۱، ۳۳-۳۵] روش‌های دیگر مسیریابی طراحی شده به کمک یادگیری تقویتی مطرح شده است.

۲-۱-۲ مبتنی بر هوش ازدحامی

این الگوی محاسبه نرم، نوعی روش هوش مصنوعی است که استوار بر رفتارهای گروهی در سامانه‌های نامتمرکز و خودسامان ده بنیان شده است. این سامانه‌ها معمولاً از جمعیتی از کنشگران ساده تشکیل شده است که به‌طور محلی با یکدیگر و با پیرامون خود در همکنشی هستند. با وجود اینکه معمولاً هیچ کنترل تمرکز یافته‌ای، چگونگی رفتار کنشگران را به آن‌ها تحمیل نمی‌کند، همکنشی‌های محلی آن‌ها به پیدایش رفتاری عمومی می‌انجامد. نمونه‌هایی از چنین سامانه‌ها را می‌توان در طبیعت مشاهده کرد؛ گروه‌های مورچه‌ها، دسته پرنده‌گان، گله‌های حیوانات، انبوه باکتری‌ها و دسته‌های ماهی.

در مقاله‌های ۳۶ تا ۳۸، SI، برای بهینه‌سازی سیستم‌های غیرقابل کنترل به کار گرفته شده است. فن‌هایی از مسیریابی نیز مانند مقاله [۳۹]، جهت یافتن کوتاه‌ترین مسیرها از الگوریتم گروه مورچه‌ها استفاده کرده است. ایده اصلی که در ورای تمامی این فن‌هاست یافتن کوتاه‌ترین مسیر بهینه میان حسگرهای فرستنده و گیرنده بر مبنای روش‌های آگاه از انرژی برای افزایش طول عمر شبکه است [۴۰].

انتشار از یک گره به گره یدیدگر در طول مسیر ارسال، وابسته به محاسبه یکارایی انرژی گره‌های مجاور و میزان اثر فرومون^۱ موجود بر نقاط اتصالی میان گره‌هاست. پس از دریافت اطلاعات، یک سفر وارونه^۲ در برخی از مسیرهای ایجادشده، جهت به‌روز درآوردن تعداد گره‌ها و میزان انرژی مصرفی صورت می‌گیرد. در مقاله [۴۱] به بررسی پدیده‌های SI در قالب سه الگوریتم مسیریابی مختلف برای شبکه حسگر بی‌سیم می‌پردازد.

الگوریتم SC^۳، FF^۴ و FP^۵ به راه‌اندازی موفق یک سیستم مؤثر با تأخیر هم‌زمان با ایجاد انرژی مؤثر می‌پردازد. علاوه بر این، الگوریتم FP برای فراهم نمودن نرخ بالای موفقیت در دریافت اطلاعات، به مصرف انرژی بیش‌تر نسبت به الگوریتم FC، FF نیاز دارد [۴۱]. مقاله [۴۲] به ارائه یک الگوریتم فرا اکتشافی^۶ بهینه با استفاده از گروه مورچه‌ها برای مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم ارائه می‌دهد که این پروتکل ضمن کاهش حجم بار ارتباطات در شبکه ذخیره انرژی را نیز افزایش می‌دهد. مقاله [۳۹] یک الگوریتم مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام گروه ذرات^۷ ارائه می‌دهد که می‌تواند سطح انرژی برای یک گره را، به‌خوبی طول مسیر، باهدف حفظ طول عمر شبکه در سطح ماکزیمم، تعیین کند. همچنین در این مقاله، یک مقایسه جامع میان مدل ارائه‌شده و الگوریتم ژنتیک برای شبکه‌هایی با اندازه‌های مختلف اعمال می‌شود. علاوه بر این، به‌جای تشکیل زنجیره وسیع (حریص)^۸ یا خوشه‌های زنجیره‌ای^۹ که ممکن هست تا، حداقل اتلاف انرژی را تضمین نکنند؛ نویسنده از

^۱pheromone

^۲backward journey

^۳ Sensor driven and cost-aware ant routing

^۴ Flooded forward ant routing

^۵ Flooded piggyback ant routing

^۶meta-heuristic

^۷ particle swarm optimization based routing (PSOR) algorithm

^۸greedy chain

^۹cluster of chain

الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند ازدحام ذرات یا پرندگان استفاده کرده است .

در تمامی روش‌های بررسی شده که با استفاده از مسیریابی SI، ارائه شده بودند، این نکته وجود دارد که با وجود انعطاف‌پذیری زیادی در شبکه حسگر بی‌سیم ایجاد می‌کنند، همچنان ایجاد ترافیک بیش‌ازحد مشکل حل نشده در این گروه از روش‌هاست.

۲-۱-۳ مبتنی بر منطق فازی

از آنجاکه شبکه حسگر بی‌سیم با یک محیط نامشخص با حجم زیادی از اطلاعات نامشخص روبرو است، نیاز به تصمیم‌گیری خاص و روش‌های قابل‌تغییر و انعطاف‌پذیر، به‌منظور افزایش طول عمر شبکه در مسیریابی دارد. استفاده از منطق فازی مانع از مدل‌سازی ریاضی‌وار پیچیده در شبکه حسگر بی‌سیم و ارائهٔ انعطاف‌پذیری بالا برای رفع ابهام و نادرستی در خلال عمر شبکه می‌شود. مهم‌ترین مبادله‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم نظیر به حداقل رسانی انرژی مصرفی در مقابل مسیر انتقال، حرکات چند پرشی^۱ در مقابل برقراری ارتباط به‌صورت مستقیم، محاسبه کردن در مقابل ارتباط ایجاد کردن، است [۴۳].

در مقاله [۴۴]، مسئله ارائه کیفیت خدمات در مسیریابی برای شبکه‌هایی با نیازهای بی‌درنگ را مورد بررسی قرار داده است و راه‌حلی پیشنهاد داده است که در آن، منطق فازی را در سازوکار تصمیم‌گیری برای انتخاب حسگر بعدی در مسیر به کار گرفته است. هر دو پارامتر نرخ انتقال و انرژی، در فرآیند انتخاب حسگر بعدی و انتقال بسته‌ها در شبکه‌های زمان واقعی مدنظر قرار می‌گیرند. این روش به کار گرفته شده در این مقاله منجر به بهبودی انتقال در زمان واقعی و کارکرد مؤثر انرژی برای اجرا در محیط‌های زمان واقعی متغیر، می‌شود. مقاله [۴۵] نیز با ارائه یک روش مسیریابی انرژی-آگاه و با استفاده از

^۱ multi hop

منطق فازی، به بهینه‌سازی شبکه از نظر مصرف انرژی می‌پردازد و قابلیت اطمینان و کاهش سطح انرژی را در شبکه به‌عنوان معیارهای کیفیت خدمات بهبود می‌بخشد. روش مطرح‌شده در این مقاله، یک روش انعطاف‌پذیر و تغییرپذیر بوده و برای شبکه‌های حسگر با معیارهای متفاوت انرژی قابل‌تعمیم است. در مقاله [۴۶]، پروتکل مسیریابی LEACH با استفاده از منطق فازی بهبود داده شده است^۱ و برای این منظور، سطح انرژی باتری، فاصله و چگالی گره‌ها در شبکه، به‌خوبی موردبررسی قرار گرفته است. روش ارائه‌شده در مقاله [۵۰]^۲، پارامترهایی نظیر تأخیر انتها به انتها و شاخص قدرت سیگنال دریافت شده^۳، برای اعمال تأثیر مثبت بر روی توان انتقالی موردتوجه قرار گرفته‌شده است. این پارامترها به حالت فازی در نظر گرفته شدند و سطح توان انتقال بهینه انتخاب می‌شود. در این مقاله حداکثر ظرفیت (توان عملیاتی)^۴ در روش FDPCA با DPCA مقایسه شده است و نشان داده شده است که توان عملیاتی در روش ارائه داده شده بهبود داده شده است. در اولین مرحله (فاز)، پارامترها محاسبه می‌شوند. الگوریتم پیشنهادی می‌تواند بدون کاهش عملکرد شبکه به ذخیره مؤثر انرژی بپردازد و مصرف انرژی شبکه را کاهش دهد.

۲-۱-۴ مبتنی بر شبکه عصبی

این الگو، یک الگوریتم حسابی^۵ قابل یادگیری است که به ترسیم روابط پیچیده میان ورودی و خروجی بر اساس روش‌های یادگیری برتر در محیط‌های مختلف می‌پردازد. شبکه عصبی سازگاری خود در سیستم حسگر بی‌سیم ثابت کرده. همچنین قادر به پیشگویی و کاهش ابعادی مقادیر در گره‌های حسگر و همچنین مقدار انرژی موردنیاز در هر

^۱Improved LEACH routing protocol using Fuzzy Logic (LEACH-FL)

^۲FDPCA

^۳Received Signal Strength Indicator (RSSI)

^۴throughput

^۵Arithmetic

مسیر می‌شود. از آنجاکه در شبکه حسگر بی‌سیم، برای بهبود طول عمر شبکه، نیازمند کاهش انرژی مصرفی و افزایش مقیاس‌پذیری شبکه حسگر هستیم، از پیش تعیین و انتخاب کردن رهبر گروه می‌تواند منجر به کاهش انرژی مصرفی شود. شبکه عصبی دارای چالش‌هایی است که مطابق با ماهیت و تغییرات رایج در شبکه حسگر بی‌سیم نیست. این خود الگوریتم مسیریابی مبتنی بر شبکه عصبی را، نیازمند یک مرحله یادگیری خارج از حد و محاسبات زیاد می‌کند. در مقاله شماره [۴۷] به بهبودی مسیریابی در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از مدل کشف مسیر و شبکه‌های عصبی می‌پردازد که این روش بر مبنای نقش هر گره، مسیریابی را با توجه به اهمیت گره و جایگاه قرارگیری آن برای رسیدن به مسیر انتقال کوتاه و با کمترین انرژی مصرفی انجام می‌دهد همچنین مجموعه‌ای از ویژگی‌ها بر اساس مکان حسگر و نقاط مجاور تعیین و به‌عنوان کشف مسیر و مدیریت نیرو مورد استفاده قرار گرفته می‌گیرد.

۲-۱-۵ مبتنی بر سیستم ایمنی مصنوعی^۱

این الگوی هوشمند، یک سیستم است که از توانایی‌های زیستی انسان جهت تقلید رفتار هوشمند انسانی در انجام وظایف کامپیوتری در جهت حل مسئله به کار استفاده می‌کند. اخیراً این سیستم‌ها برای انتخاب مؤثرتر سر خوشه به کار گرفته می‌شود. مسیریابی و مشکل خوشه‌بندی در شبکه حسگر بی‌سیم وابسته به تعداد ثابت خوشه‌ها در شبکه است. مقاله‌های در حوزه خوشه‌بندی با تمرکز بر رهبران خوشه‌ها سعی در کاهش فاصله انتقال کلی و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی دارند. سیستم مصنوعی به‌طور عمده برای دسته‌بندی گره‌های شبکه حسگر بی‌سیم به تعدادی از خوشه‌های غیرمستقل، به‌منظور کاهش فاصله‌ها در مسیریابی به کار می‌رود.

^۱ Artificial Immune System (AIS)

۶-۱-۲ مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی^۱

الگوریتم ژنتیک یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های تکاملی بوده که فرآیند تکامل طبیعی را تقلید می‌کند. به این دلیل که افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم وابسته به مصرف انرژی گره است، گزینش مسیر بهینه میان منبع و چاهک یک چالش اساسی به شمار می‌رود. در ادامه در این فصل به شرح چندین روش ارائه‌شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پرداختیم

۲-۲ اهداف طراحی در پروتکل‌های مختلف

بنا بر کاربردی که برای شبکه حسگر طراحی شده، در نظر گرفته شده است، روش‌های مسیریابی با محوریت‌های گوناگونی طراحی می‌شوند که در زیر نام برده شده است

۱-۲-۲ شبکه‌های پویا

در این نوع از هدف طراحی که معمولاً برای کاربردهای تشخیص هدف^۲ و نظارت بر آتش‌سوزی جنگل‌هاست که مهم شمرده می‌شوند، باید پروتکل معرفی شده، ایده یا تدبیری با توجه به این سه مهم در شبکه اندیشیده باشد، وضعیت حس‌گرها که ثابت باشند یا متغیر، مشخصات کامل گره چاهک یا سرخوشه‌ها، مدیریت رویدادی که قصد نظارت بر آن وجود دارد. در پروتکل‌های با این نوع هدف، رسیدن به پایداری حتی بیش از مسئله کارآمد بودن انرژی و پهنای باند مؤثر، مورد توجه است [۴۸].

^۱ Evolutionary Algorithm (EA)

^۲ target detection/tracking

۲-۲-۲ نحوه آرایش و یا توپولوژی گره‌ها^۱

استقرار گره‌ها یا به صورت قطعی^۲ است یا خودسازمان‌ده^۳. در شرایط قطعی گره‌ها به صورت مشخصی آرایش یافته‌اند به این معنی که اطلاعات بر روی مسیرهای از پیش تعیین‌شده‌ای انتقال داده می‌شوند و در شرایط خودسازمان‌ده، گره‌های حسگر به صورت تصادفی پراکنده و ایجاد می‌شوند؛ و در این حالت موقعیت گره چاهک با توجه به بهره‌وری بهتر از انرژی و کاربرد مشخص می‌شود. در پروتکل‌های این‌چنینی انتخاب آرایشی از گره‌ها که با بهترین بهره‌وری انرژی همراه باشد مهم‌ترین مسئله مورد بررسی است.

۳-۲-۲ مصرف انرژی

پروتکل‌هایی که مصرف انرژی را محور طراحی قرار دادند، دو گزینه را برای تعیین مسیرهای بین گره‌ها، حتماً بررسی کرده‌اند: اینکه شبکه به صورت تک‌هاب طراحی شود یا مالتی‌هاب؛ بنابراین در اینجا مهم‌ترین مسئله، نحوه تعیین مسیرها و رسیدن به مقصد، با کمترین مسافت است. [۴۹]

۴-۲-۲ مدل تحویل داده^۴

بر طبق مدل‌های تحویل داده، اطلاعات در شبکه می‌تواند با سه حالت زیر به گره چاهک تحویل داده شود: پیوسته^۵ رویداد محور^۶، جستجو محور^۷ و ترکیبی^۸ [۴۸] که می‌بایست در پروتکل‌های این‌چنینی پیش از طراحی نوع انتقال داده را تعیین کرده و بر آن

^۱ Node deployment

^۲ deterministic

^۳ selforganizing

^۴ Data delivery models

^۵ continuous

^۶ event-driven

^۷ query-driven

^۸ hybrid

اساس ارائه شده باشند. در مدل‌های پیوسته، گره اطلاعات را به ترتیب و مکرراً ارسال می‌کند اما در مدل‌های رویداد و جستجو محور، گره با یک درخواست جستجو یا رخ دادن یک رویداد، اطلاعات را ارسال می‌کند. این مدل پروتکل‌ها مهم‌ترین مسئله برای حل را کاهش انرژی با کاهش ترافیک در شبکه می‌دانند. [۵۰]

۲-۲-۵ ظرفیت گره‌ها

در این حالت از پروتکل‌ها، شبکه ممکن است همگن در نظر گرفته نشود. در اکثر پروتکل‌های مسیریابی شبکه‌های حسگر، شبکه همگن در نظر گرفته می‌شود اما بنا بر کاربردهای خاص ممکن این‌چنین نباشد و به این صورت باشد که همه گره‌ها شرایط و مشخصات یکسانی نداشته باشند به‌عنوان مثال برای گره چاهک انرژی اولیه، پهنای باند و ظرفیت حافظه بیشتری در نظر گرفته شود. [۱۰، ۵۱، ۵۲] و یا سایر تفاوت‌هایی چون وظیفه یک گره در شبکه را می‌توان در نظر گرفت. در واقع مهم‌ترین در این پروتکل‌ها، انتظار و کاربردی است که باید پروتکل مسیریابی طراحی شده برطرف نماید و در اکثر مواقع پروتکل طراحی شده تنها می‌تواند هدف مشخصی را ارضا نماید.

۲-۲-۶ جمع‌آوری و یا ادغام داده‌ها^۱

از آنجایی که گره‌های حسگر ممکن است اطلاعات زیاد تکراری تولید کنند، روش‌هایی که کاهش بار اضافی اطلاعات را مهم می‌شمارند، درصد ارائه فن‌هایی هستند که داده‌های تکراری را حذف کنند و مجموعه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری شده بدون عضو تکراری را به دست بیاورند و به کمک بهینه‌سازی ترافیک شبکه انرژی مصرفی را در شبکه کاهش دهند [۵۳].

^۱ Data aggregation/fusion

۳-۲ پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک موجود در شبکه‌های

حسگر بی‌سیم از دیدگاه کیفیت خدمات

استفاده بهینه از انرژی و برآورده نمودن نیازهای کیفیت خدمات، از موضوعات مهم در مسیریابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم به شمار می‌آید که عملکرد و طول عمر شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به محدودیت‌های شبکه گیرنده بی‌سیم، مسیریابی هوشمند باید به تعادل مصرف انرژی در میان گره‌ها پرداخته و از این‌رو طول عمر شبکه را بهبود ببخشد.

اکثر مقاله‌هایی که روش‌های هوشمند را در مسیریابی شبکه‌های حسگر بررسی کردند، این روش‌ها را تنها از منظر افزایش طول عمر شبکه و مصرف انرژی مورد بررسی قرار دادند اما ما از بین الگوریتم‌های موجود، روش‌های جدیدی که با توجه به ارائه کیفیت خدمات مطرح شده‌اند را مورد بررسی قرار دادیم، ضمن این‌که ارائه کیفیت خدمات نیز، با توجه به تعریف‌های مختلفی از هر کدام از معیارها شده است، صورت گرفته است به‌عنوان مثال هر یک از روش‌ها ممکن است طول عمر شبکه را با توجه به یکی از نگاه‌های زیر بهبود داده باشد

۱- محاسبه و بهبود انرژی تا زمانی که اولین گره انرژی اش تمام شود.

۲- تا زمانی که اولین گره زنده پیدا شود که مسیری برای رسیدن به ایستگاه اصلی نداشته باشد.

۳- نرخ بسته‌های دریافت شده وقتی هیچ اطلاعات جدیدی نمی‌تواند به ایستگاه اصلی ارسال شود.

همچنین تعریف‌های مختلفی هم از معیارهای دیگر کیفیت خدمات صورت گرفته است.

در پروتکل‌هایی که در زیر آن‌ها رامنرفی می‌کنیم ممکن است هرکدام یک یا چندین معیار کیفیت خدمات را با تعریف‌های زیر مدنظر قرار داده باشند:

- ۱- توان عملیاتی^۱: تعداد بیت‌هایی که در گره چاهکبه‌طور صحیح دریافت می‌شوند.
- ۲- نرخ تحویل بسته^۲: نسبت تعداد کلی بسته‌های دریافت شده توسط گره چاهکبه تعداد بسته‌های ایجادشده توسط تمام حسگرها
- ۳- بازده انرژی: نسبت مقدار کلی انرژی تلف‌شده توسط تمام حسگرهای مبدأ و دریافت‌کننده به تعداد بسته‌های انحصاری دریافت شده توسط ایستگاه پایه. هرچه این مقدار بزرگ‌تر باشد پروتکل به میزان کمتری بهینه عمل می‌کند.
- ۴- تأخیر انتها به انتها: تأخیر برای یک بسته منفرد به معنای زمان سپری‌شده میان تولید این بسته در مبدأ تا زمان دریافت آن توسط گره چاهکاست

۱-۳-۲ پروتکل مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و درخت جمع‌آوری داده

اولین بار در سال ۲۰۰۶ پروتکل مسیریابی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم باهدف بالا بردن طول عمر شبکه، ارائه شد. ایده جدیدی که در آن سال مطرح شد این ادعا بود که ما می‌توانیم بیشترین طول عمر را بدون نیاز به حل هیچ برنامه خطی فراهم کنیم به این صورت که درنهایت قادر بود ماکزیمم طول عمری که مدنظر بود را با استفاده از تعداد محدودی درخت برای یک شبکه کوچک ایجاد کند. روش عملکرد نیز این‌چنین تعریف‌شده بود که گره در این مدل یک بسته اطلاعات با طول ثابت چند بیتی دارد که باید از طریق شبکه به سمت مقصد انتقال داده شود و هر گره می‌تواند یک یا حتی بیشتر از بسته‌های اطلاعات ورودی را با بسته خودش جمع‌آوری کند بنابراین

^۱Throughput

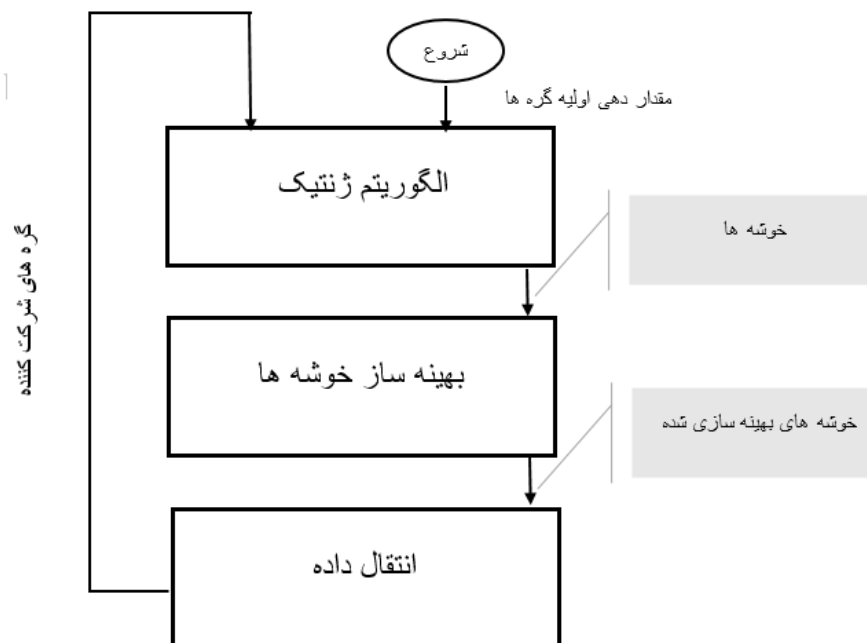
^۲Packet Delivery Ratio (PDR)

در راند جمع‌آوری داده، گره چاهکاطلاعات مربوط به گره‌ها را جمع‌آوری می‌کند. این روش، درخت‌های جمع‌آوری داده را برای نمایش مسیرها ارائه می‌دهد و اگرچه که بهترین درخت جمع‌آوری معرف بهترین و مؤثرترین مسیرها هست اما باین حال وجود استفاده مکرر از آن باعث می‌شود تا تعدادی گره به‌سرعت به‌سوی زوال پیش روند و طول عمر شبکه به‌شدت کاهش یابد؛ بنابراین در این پروتکل از یک دنباله‌ای از مسیرها استفاده می‌شود و درنهایت تعداد راندهایی که یک درخت جمع‌آوری داده مورد استفاده قرار می‌گیرد را فرکانس درخت در نظر می‌گیرد و به‌منظور توسعه‌های آتی ارائه می‌دهد [۵۴].

۲-۳-۲ پروتکل خوشه‌بندی با انرژی بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک^۱

در این روش که در سال ۲۰۰۷ ارائه شد، گره‌های حسگر به‌عنوان بیت‌های یک کروموزوم در نظر گرفته می‌شدند و با سنجش و تعیین پارامترهای: مسافت خوشه‌ها، مسافت مستقیم به‌سوی ایستگاه اصلی، انرژی موردنیاز انتقال بسته‌ها، استاندارد مشخص شده که توسط آن مسافت‌ها خوشه‌بندی شوند و تعداد کل انتقال‌های صورت گرفته، سعی در بهبود انرژی در پخش داده در سطح شبکه را دارد. در این پروتکل از الگوریتم ژنتیک برای راه‌اندازی اولیه سلسله‌مراتب خوشه‌ها مورد استفاده قرار می‌دهد. به این صورت که ابتدا توسط الگوریتم ژنتیک همه گره‌های زنده داخل خوشه‌ها سازمان‌دهی می‌شوند، سپس یک بهینه‌ساز، از این خوشه‌های پیشنهاد شده توسط الگوریتم ژنتیک، به‌صورت یک صف استفاده می‌کند و خوشه بهینه را مشخص می‌کند. روش کار این پروتکل در زیر مشاهده می‌شود [۵۵].

^۱ [55] S. Hussain, A. W. Matin, and O. Islam, "Genetic algorithm for hierarchical wireless sensor networks," *Journal of Networks*, vol. 2, pp. 87-97, 2007.



شکل ۲-۲: روال انجام پروتکل مسیریابی به کمک خوشه‌بندی و مبتنی بر الگوریتم ژنتیک [۵۵]

۲-۳-۳ الگوریتم ژنتیک برگزیده^۱ بر اساس طرح‌های مسیریابی انرژی بازده برای

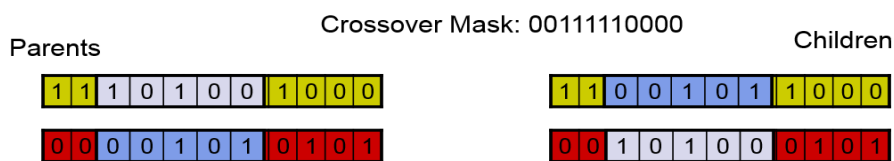
شبکه‌های حسگر بی‌سیم

استراتژی کلی این روش به این صورت است که بهترین اعضا از بین نمی‌روند. در عوض، بهترین اعضا پس از اجرای عملیات ترکیب و جهش، جایگزین بدترین اعضا می‌شود. اگر انرژی موجود در گره‌های خاص در مسیریابی به مقدار از قبل تعیین شده برسد، گره در زنجیره مسیریابی بر اساس احتمالات موجود جایگزین می‌شود و این کار باعث طولانی شدن طول عمر می‌شود. گام‌های مربوط به این الگوریتم به صورت زیر است:

در اولین گام، N کروموزوم به‌طور تصادفی ایجاد شده همچنین مقدار آستانه^۲ مشخصی نیز برای مسافت (شعاع ارتباطات) تعیین می‌شود. در گام بعدی تابع هزینه

^۱ ELITIST

(تناسب) باهدف افزایش طول عمر شبکه در نظر گرفته می‌شود و برای کروموزوم‌ها محاسبه می‌شود. بهترین کروموزوم‌ها، بیشترین مقدار تناسب را دارند بنابراین الگوریتم به حفظ بهترین کروموزومی می‌پردازد که دارای بیشترین مقدار تناسب بوده و این خود انتخاب بهترین‌ها نامیده می‌شود. در گام سوم از الگوریتم، باید با اپراتورهای انتخاب از بین اعضای بهتر، والدین برای مرحله ترکیب انتخاب شوند. برای مرحله ترکیب در این مقاله از عملگر دونقطه^۱ برای ایجاد اعضای جدید، استفاده شده است. در این عملگر در هر دو والد انتخاب شده، دونقطه به تصادف انتخاب می‌شود، سپس فاصله بین این دونقطه در پیش و بعد از این دونقطه مستقیم در فرزند کپی می‌شود و فاصله بین این دونقطه در والد اول در فرزند دوم کپی می‌شود و برعکس در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: ترکیب دونقطه‌ای [۵۶]

گام بعدی به جهت اصلاح است، این گام منجر به حذف حلقه‌های مسیریابی می‌شود به این صورت که مقادیر ژنی که در کروموزوم‌ها تکرار می‌شوند حذف شده و حلقه‌ها حذف می‌شوند. اگر فرزندی محدودیت‌های تحمیل شده (آستانه مسافت) را نقض کرده باشد، حذف می‌شود و مرحله ترکیب مجدد تکرار می‌شود. در مرحله جهش، یک گره به‌طور تصادفی از میان بهترین کروموزوم‌ها، انتخاب شده و مقدار یک ژن در آن به‌طور تصادفی جهت تولید فرزند تغییر می‌کند. در این مرحله نیز اگر فرزند جدید به وجود آمده محدودیت‌های تحمیل شده (آستانه مسافت) را نقض کرده باشد، حذف می‌شود و مرحله جهش مجدد تکرار می‌شود؛ و نهایت، بهترین راه‌حل از جمعیت به‌منظور افزایش سرعت

^۱Two point crossover operator

همگرایی، در نسل بعدی اعمال شده. در این مقاله رسیدن به حداکثر تعداد نسل‌ها را شرط به پایان رسیدن الگوریتم قرار داده‌اند [۵۷].

۲-۳-۴ پروتکل هیبریدی مبتنی بر کیفیت خدمات با استفاده از الگوریتم ژنتیک توزیع شده^۱

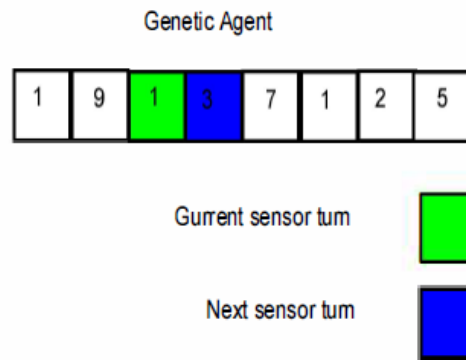
هدف این روش [۵۸] توسعه پروتکل مسیریابی بر محور ارائه کیفیت خدمات و بر مبنای الگوریتم ژنتیک توزیعی هست. پارامترهای کیفیت خدماتی که این روش به بهبود آن‌ها پرداخته، تأخیر انتها به انتها و انرژی باقیمانده حسگر هست. در این الگوریتم، چندین مسیر میان فاصله موجود بین مبدأ و مقصد موجود است. QDGRP این‌گونه فرض می‌کند که شرایط زیر موجود است: ۱) حسگرها مجهز به تجهیزات موقعیت‌یابی هستند و قادر به تعیین مکان‌های جغرافیایی خود در نقشه‌های ۲ بعدی هستند. ۲) حسگرها به‌طور دوره‌ای و متناوب به مبادله بسته‌های آغازین (سلام) که نشان‌گر انرژی باقیمانده و مکان‌های جغرافیایی آن‌ها نیز هست، می‌پردازند؛ بنابراین هر حسگر از مقدار انرژی باقی‌مانده و محل دقیق همسایه‌های خود باخبر است. ۳) لینک‌های بی‌سیم متقارن فرض شده‌اند. برای مثال اگر حسگر A قادر به برقراری ارتباط با B باشد، حسگر B قادر به برقراری ارتباط با A است. ۴) لایه MAC تضمین‌کننده انتقال بسته برای حداکثر تعداد مشخصی از آزمایش مجدد است ۵) حسگرها، صرف‌نظر از مکان و انرژی باقیمانده، به تبادل پیام‌های کنترلی و حاوی اطلاعات خود را با یکدیگر می‌پردازند.

در این مقاله از الگوریتم ژنتیک توزیع یافته^۲ برای حل مشکل تغییر محل جغرافیایی و پیوند ضعیف بین گره‌ها، در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده نموده است. در

^۱ QDGRP: A Hybrid QoS Distributed Genetic Routing Protocol for WSNs

^۲ Distributed Genetic Algorithm (DGA)

این روش، هر عضو به ارائه یک مسیر در شبکه می‌پردازد. مسیرها به صورت توالی متغیر^۱ کدگذاری شده‌اند، به این صورت که حسگر و نقاط مجاورش را در یک لیست مشخص می‌کند و به جای دریافت حس گر به حس گر، فهرستی از همسایه‌ها انتخاب می‌شوند.



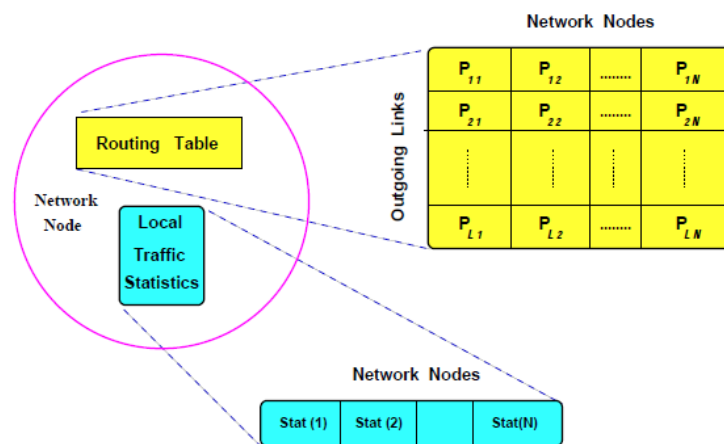
شکل ۲-۴: کدگذاری به روش توالی متغیر

به کار بردن تغییرات به جای هویت حس گرها، باعث می‌شود تا یک دید کلی از شبکه به وجود آید و اجازه عملکردهای اقتباسی (قابل تطبیق)^۲ و توزیع یافته را می‌دهد. جستجوی مسیرهای موجود در این الگوریتم مشابه شبکه مورچگان^۳ انجام می‌شود.

^۱sequence of turns

^۲adaptive

^۳AntNet



شکل ۲-۵: جستجوی مسیره‌ها در الگوریتم کلونی مورچگان [۵۹]

عملیات انتخاب، ترکیب و جهش در الگوریتم ژنتیک، اینجا نیز برای یافتن بهترین مسیر و ارسال و دریافت بسته‌ها اجرا می‌شود. ^۱ QDGRP یک پروتکل مسیریابی هیبریدی است به این معنا که هم بخش proactive را داراست هم بخش Reactive که بخش Reactive از روش AODV الگو می‌پذیرد به این صورت که الگوریتم کشف مسیر تنها زمانی آغاز به کار می‌کند که مسیری بین دو گره وجود نداشته باشد همچنین تنها در طول مدتی که مورد استفاده قرار می‌گیرند نگهداری می‌شوند و بخش proactive با توجه به DGA اقتباسی انجام می‌شود ضمن اینکه توجه شده از DGA و AODV تطبیق شده با ویژگی‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده شود

۲-۳-۵ مسیریابی آگاه از انرژی با تأخیر محدود، مبتنی بر الگوریتم ژنتیک^۲

روش ارائه‌شده در این مقاله [۶۰]، یک پروتکل مسیریابی دربرگیرنده کیفیت خدمات است. این پروتکل مسیره‌های با انرژی بهینه را ضمن در نظر گرفتن محدودیت تأخیر، در ترافیک زمان واقعی می‌یابد. در این الگوریتم به منظور افزایش طول عمر، دنباله‌ای از مسیره‌ها را در نظر می‌گیرد. طول عمر در اینجا زمان سپری‌شده تا پیدایش اولین گره

^۱ hybrid QoS Distributed Genetic routing protocol

^۲ EDRP :Energy-aware, delay-constrained routing in wireless sensor networks through genetic algorithm

مرده تعریف می‌شود. در این پروتکل از الگوریتم ژنتیک برای ایجاد مسیریابی با انرژی مؤثر در شبکه حسگر بی‌سیم استفاده شده است. با توجه به اهمیت نیاز داشتن اطلاعات مکانی گره‌ها به جای مشخصات کامل، در کاربردهای ردیابی هدف توسط شبکه‌های حسگر بی‌سیم، عملکرد پروتکل بر اساس موقعیت جغرافیایی گره‌ها و تصمیم‌گیری‌های محلی، صورت گرفته است. در این پروتکل نیز یک محدودیت تأخیر مشابه کاری که ما در این پایان‌نامه انجام دادیم، در نظر گرفته است و به برقراری یک مصالحه بین رسیدن به کیفیت خدمات و کاهش مصرف انرژی پرداخته است. مسئله مسیریابی در پروتکل EDRP این‌گونه تعریف می‌شود:

هر یک از کروموزوم‌ها مجموعه‌ای از بیت‌ها هستند که برای ارزیابی آن‌ها از تابع تناسبی با پارامترهایی نظیر تأخیر در حالت تک‌هاب، سرعت و مصرف انرژی کمک گرفته شده است. این تابع تناسب، سعی در کمینه کردن مصرف انرژی در شبکه ضمن توجه به تأخیر انتها به انتها را دارد که هرچه مقدار بیشتری را دارا باشد راه‌حل، به مقدار بهینه نزدیک‌تر است. در روند اجرای الگوریتم ژنتیک در این روش مشابه روش پیشنهادی این پایان‌نامه، تعدادی از بهترین‌های جمعیت در هر نسل مستقیم در نسل بعدی کپی می‌شوند؛ بنابراین جمعیت نسل بعدی را علاوه بر فرزندان حاصل از عملیات جهش و ترکیب، تعدادی از جمعیت نسل قبل، تشکیل می‌دهند. بنا بر ادعای نویسنده، پروتکل EDRP به این دلیل که تعداد گره‌ها محدود هستند، سربار کمی را به گره‌ها وارد می‌کند

۲-۳-۶ یک الگوریتم مسیریابی با کوانتوم ژنتیک مبتنی بر ارائه کیفیت خدمات^۱

این پروتکل [۶۱]، الگوریتم ژنتیک را به منظور رسیدن به جستجوی بهینه‌تر و حل مشکل همگرایی زودرس، بهبود بخشیده است. این الگوریتم بهبودیافته با نام الگوریتم

^۱ A Quantum Genetic Algorithm based QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks

ژنتیک کوانتوم^۱، با ترکیب روش محاسباتی کوانتوم و الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است. پروتکل، با استفاده از این الگوریتم، یک روش انرژی آگاه را، باهدف تضمین کردن پهنای باند و تأخیر ارسال مناسب، در قالب کیفیت خدمات ارائه می‌دهد. همچنین در حالت جمعیت پویا نیز این پروتکل قابلیت اجرا را دارا است.

یک کروموزوم در الگوریتم ژنتیک کوانتومی، کوانتوم کروموزوم نامیده می‌شود که از کوانتوم بیت‌ها تشکیل شده است. یک کوانتوم بیت می‌تواند مقدار صفر یا یک داشته باشد. کوانتوم کروموزوم‌ها می‌توانند در خلال اجرای برنامه مقدار متفاوتی داشته باشند و هر کروموزوم می‌تواند چندین حالت خاص را پوشش دهد؛ بنابراین QGA مشخصه چگالی جمعیت را نسبت به الگوریتم ژنتیک سنتی بهتر نمایش می‌دهد. علاوه بر حالت ۰ و ۱، کوانتوم بیت‌ها قادر هستند تا توسط یک گیت^۲ به حالت‌های دیگر، نظیر گیت چرخش، گیت معکوس کننده، ... تغییر کند (جهش کوانتومی). به‌منظور حفظ تنوع در جمعیت، گیت چرخش، می‌تواند عامل مهمی در جهت بروز رسانی الگوریتم‌های کوانتومی به شمار آید. گیت معکوس کننده^۳ برای اجرای عملگر جهش در الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور پس از تعیین احتمال جهش با توجه به مقدار آستانه در نظر گرفته‌شده، یک کروموزوم در سرتاسر جمعیت به تصادف انتخاب می‌شود. سپس چندین ژن در این کروموزوم به تصادف انتخاب می‌شود و عملگر جهش بر روی ژن‌های انتخابی اعمال می‌شود. پروتکل QG-QoS قابلیت اجرا در شبکه‌های در مقیاس بزرگ را دارا است. طول عمر در شبکه، با تعریف اول توسط این پروتکل بهبود می‌یابد.

^۱ quantum genetic algorithm (QGA)

^۲ quantum gate

^۳ Quantum Not gate

۷-۳-۲ پروتکل مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات با انرژی مؤثر

پروتکل QuEST، سعی در بهبود نیازهای پهنای باند و تأخیر انتها به انتها به عنوان نیازهای کیفیت خدمات دارد و با این شرایط مسیره‌های با انرژی و خدمات نزدیک به بهینه را ارائه دهد. در این پروتکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه^۱، چندین معیار از کیفیت خدمات پوشش داده شده است؛ و ایده اصلی این مقاله بررسی هر دو پارامتر تأخیر و پهنای باند است به‌عنوان دو هدف، بدون اینکه از فن‌های ترکیب دو هدف و تبدیل مسئله به یک مورد تک هدفه مانند کاری که ما در این پایان‌نامه انجام دادیم، بهره ببرد؛ بنابراین مجموعه‌ای از راحل‌های برتر را ارائه می‌دهد که کاربر مختار است تا بهترین راه‌حل ممکن را مطابق با نیازهای کاربردی خاص اعمال کند؛ که نیاز به تعریف پارامترهای بیشتر نسبت به سایر روش‌ها است. این روش به انتخاب صحیح احتمال رخداد برای اپراتورهای الگوریتم ژنتیک حساس است و در صورت انتخاب کاملاً صحیح، با تعداد تکرار بسیار اندک به همگرایی و جواب نزدیک به بهینه خواهد رسید. راهکاری که این مقاله به‌کاربرده است، استفاده از توزیع وایبول^۲ برای مدل‌سازی تأخیر و پهنای باند است [۶۲].

^۱ multi-objective genetic algorithm (MOGA)

^۲ Weibullian

۳ فصل سوم:

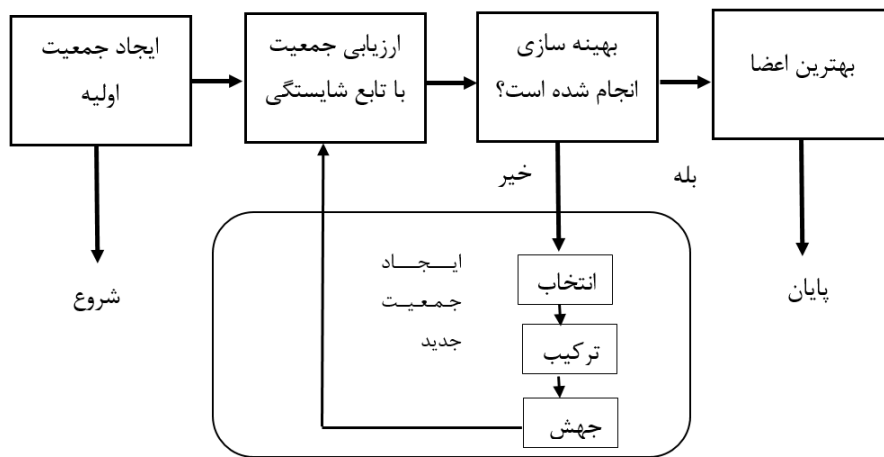
الگویت‌م پیشنهادی

۱-۳ الگوریتم ژنتیک

محاسبات تکاملی بر مبنای تکامل زیستی و طبیعی موجود در طبیعت بنا شده است. الگوریتم‌های تکاملی با ترکیب مباحث هوش مصنوعی و بهینه‌سازی، یک ساختار جمعیتی ایجاد می‌کنند و بر اساس قوانینی مثل انتخاب و ترکیب و جهش آن‌ها را رشد می‌دهند و این الگوریتم‌ها همگی در فرایندهای روند تکامل از جمله انتخاب و تولیدمثل مشترک می‌باشند، کارایی این فرایندها به کارایی ساختارهای افراد جمعیت که توسط محیط تعریف می‌شوند، بستگی دارند. به هر فرد در جمعیت با توجه به محیط اطراف یک مقدار شایستگی نسبت داده می‌شود و عملیات انتخاب با توجه به میزان شایستگی افراد انجام می‌شود. یک الگوریتم تکاملی عموماً جمعیت آغازین را به صورت تصادفی تعیین می‌کند. همچنین تکامل میزان شایستگی هر یک از افراد را بر مبنای ارزششان در محیط مورد نظر اندازه‌گیری می‌نماید. عملیات انتخاب اغلب در دو مرحله انجام می‌شود. انتخاب والدین و ابقا. در انتخاب والدین الگوریتم والدین را تعیین کرده و معین می‌سازد که آن‌ها چند فرزند داشته باشند. فرزندان از طریق ترکیب یا همان انتقال اطلاعات بین دو والد و یا جهش خلق می‌شوند. سپس فرزندان دوباره ارزیابی می‌گردند و در نهایت در گام ابقا تعیین می‌شود که کدام‌یک از آن‌ها در جمعیت جدید ابقا شوند. الگوریتم ژنتیک به‌عنوان ابزار محاسباتی نرم، یک مدل از یادگیری ماشین است که رفتار آن از سازوکار تکامل در طبیعت الهام گرفته شده است. کروموزوم‌ها در این روش معمولاً در حالت‌های محاسباتی در قالب آرایه‌ای از بیت‌ها و یا کاراکترها پیاده‌سازی می‌شوند که می‌توانند طول ثابت یا متغیر داشته باشند. نحوه کلی عملکرد الگوریتم ژنتیک مطابق با چرخه زیر است:

ابتدا الگوریتم با ایجاد جمعیتی از افراد که هر یک در قالب کروموزوم ارائه می‌شوند، پیاده‌سازی می‌گردد. سپس کلیه افراد موجود در جمعیت ارزیابی می‌شوند و افراد جدید با

استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش تولید می‌شوند و افراد قدیمی و تکراری از جمعیت جدید حذف می‌گردند. یک تکرار از حلقه یادشده تحت عنوان ایجاد یک نسل شناخته می‌شود. اولین نسل از این فرایند به صورت تصادفی ایجاد شده و سپس عملگرهای ژنتیک با اندازه‌گیری میزان شایستگی آن‌ها جمعیت را از نظر کارایی برای حل مسئله مورد ارزیابی قرار می‌دهند.



شکل ۳-۱: مراحل الگوریتم‌های تکاملی

برای انجام هر یک از مراحل الگوریتم ژنتیک، با توجه به کاربرد و ساختار مسئله مورد بررسی می‌توان از نوع خاصی از عملکرد یا روش استفاده نمود که اکثر روش‌های موجود در جدول زیر لیست شده است.

جدول ۳-۱: انواع روش‌های موجود برای هر یک از مراحل انجام الگوریتم ژنتیک

ساختار مناسب برای هر فرد		آرایه‌های دودویی - درخت ژنتیک - درخت تجزیه ^۱ - درخت دودویی - زبان طبیعی
رتبه‌بندی پیش از انتخاب		تخصیص شایستگی با رتبه‌بندی ^۲ رتبه‌بندی چندهدفه ^۳
انتخاب		انتخاب چرخ رولت ^۴ - انتخاب بولتزمن - انتخاب حالت پایدار - انتخاب نخبه‌سالاری ^۵ - انتخاب درجه‌بندی ^۶ - نمونه‌برداری فراگیر شانس ^۷ - انتخاب محلی - انتخاب برشی ^۸ - انتخاب رقابتی ^۹
ترکیب	ترکیب ساختارها با مقادیر حقیقی	ترکیب میانی ^{۱۰} - ترکیب خطی ^{۱۱} - ترکیب خطی توسعه‌یافته ^{۱۲}
	ترکیب ساختارهای دودویی	ترکیب تک نقطه، دونقطه، چند نقطه - ترکیب یکنواخت - ترکیب درهم ^{۱۳} ترکیب با جانشینی کاهش‌یافته ^{۱۴}
	ترکیب مؤثر در همه ساختارها	ترکیب گسسته
	سایر روش‌ها	ترکیب ریاضی - ترکیب اکتشافی
جهش		روش مرزی (مقدار یک متغیر با کرانه بالا یا پایین جایگزین می‌شود)

^۱Parse Tree

^۲Rank-based fitness assignment

^۳multi-objective ranking

^۴roulette wheel selection

^۵Elitism

^۶Rank selection

^۷stochastic universal sampling

^۸truncation selection

^۹tournament selection

^{۱۰}recombination methodes

^{۱۱}Intermediate Recombination

^{۱۲}Extended Line Recombination

^{۱۳}shuffle crossover

^{۱۴}crossover with reduced surrogate

روش غیریکنواخت (فقط برای متغیرهای حقیقی)		
یکنواخت (فقط برای متغیرهای حقیقی، با یک عدد تصادفی بین کران بالا و پایین جایگزین می‌شود)		
روش گاوسی		
جایگزینی کامل - یکنواخت - نخبه سالار - شایسته‌سالار	جایگزینی سراسری	جایگزینی
جایگزینی با ضعیف‌ترین والد موجود در همسایگی انتخاب فرزندان شایسته‌تر در همسایگی	جایگزینی محلی	

۲-۳ مزایای الگوریتم ژنتیک

- ۱- فهم ساده دارند
- ۲- واحدها مستقل از کاربرد هستند
- ۳- بهینه‌سازی چند هدفی را پشتیبانی می‌کنند
- ۴- در محیط‌های مختلف مناسب‌اند
- ۵- همیشه جواب داریم و جواب با گذر زمان بهبود می‌یابد
- ۶- به صورت ذاتی موازی و به‌سادگی توزیع پذیرند
- ۷- روش‌های فراوانی برای افزایش سرعت و بهبود کارایی الگوریتم ژنتیک وجود دارند
- ۸- برای حل‌های قبلی یا متناوب به راحتی قابلیت مضاعف شدن دارند
- ۹- در ساختارهای ترکیبی در شکل دادن بلوک‌های ساختاری انعطاف پذیرند

۳-۳ روش پیشنهادی

در طراحی‌های مهندسی، شاید نتوان طرح بهینه موردنظر را در قالب یک هدف بیان نمود همچنین اهداف متفاوت ممکن است باهم سازگار نباشند. در این تحقیق نیز ما از

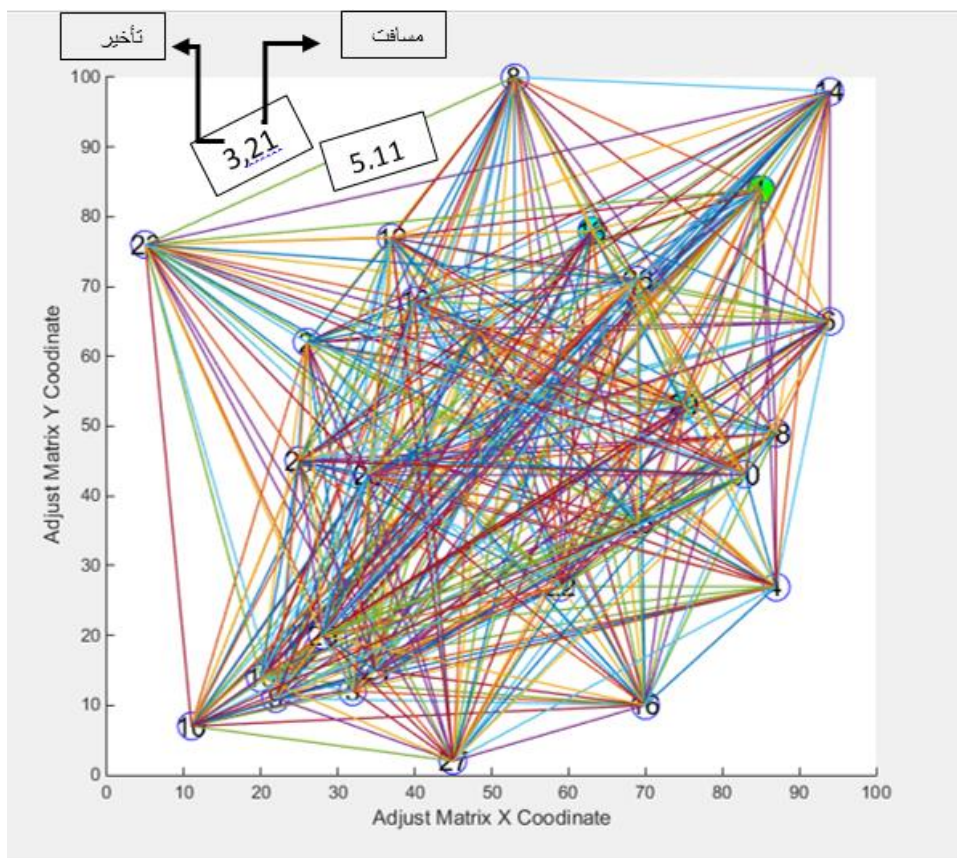
یک بهینه‌سازی چندهدفه^۱ بهره برده‌ایم چراکه به‌منظور برآورده کردن نیاز کیفیت خدمات، سعی در برقراری یک مصالحه بین دو نیاز کاهش مصرف انرژی و کاهش تأخیر داریم. برای ساده کردن موضوع، به یک موضوع یک هدفه، قبل از جستجو از یک فرایند تصمیم‌گیری برای مشخص شدن هدف در قالب یک هدف استفاده می‌کنیم.

۳-۴ مدل شبکه در روش پیشنهادی

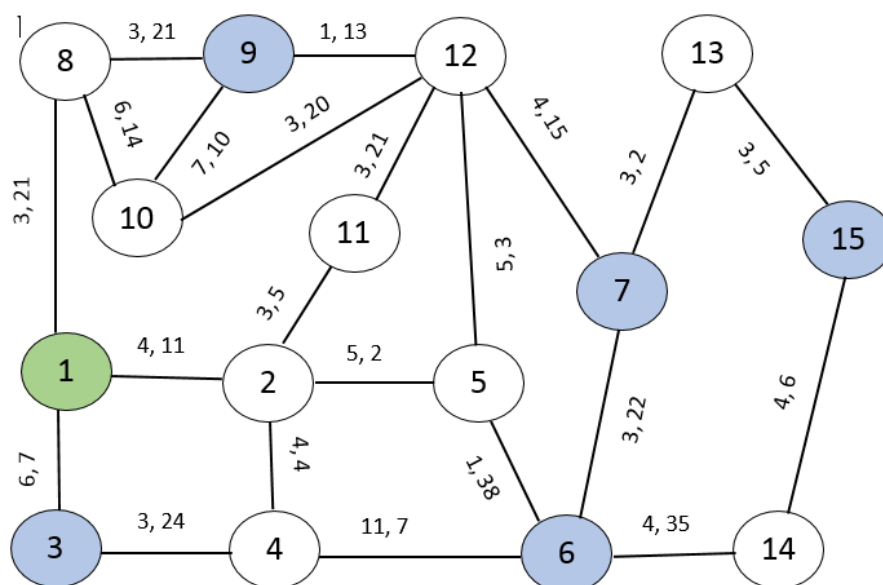
مدلی که در این پایان‌نامه در نظر گرفته شده است به این صورت است که گره‌های حسگر همگن هستند و تعداد ۳۰ گره در فضای مشخص ۱۰۰ در ۱۰۰ به‌صورت تصادفی و نرمال و با انرژی محدود توزیع شده است (الگوریتم برای تعداد گره‌های بیشتر و کمتر نیز آزمایش شده است) و تخصیص انرژی اولیه در تمام گره‌ها یکنواخت صورت گرفته است. الگوریتم پیشنهادی یک الگوریتم مبتنی بر مبدأ با انرژی بهینه است در جهت کاهش تأخیر انتها به انتها.

ما فرض کرده‌ایم که در گراف تشکیل‌دهنده شبکه، هر یک از یال‌های برقرارکننده ارتباط بین دو گره، دارای دو وزن تأخیر و مسافت باشند که مقدار مسافت و تأخیر در هر بار اجرای الگوریتم متفاوت است و به‌صورت تصادفی تعیین می‌شود.

^۱Multi objective optimization



شکل ۳-۲: نمونه یک گراف ورودی



شکل ۳-۳: نمونه یک شبکه وزن دار با ۱۵ گره که گره‌های مقصد با رنگ آبی و گره مبدأ با رنگ سبز نمایش داده شده است

مدل حداقل مقدار انرژی [۴۰] برای انتقال یک پیام واحد مورد نیاز برای یک اتصال

بین گره v_i و v_j :

$$E_{i,j} = A_1 (r_{i,j})^\beta + A_2 \quad (1-3)$$

که $r_{i,j}$ فاصله اقلیدسی^۱ بین v_i و v_j ، A_1 ضریب ثابت وابسته، β ثابت از دست رفتن مسیر^۲ و A_2 عدد ثابتی است که سربارهای الکترونیکی و پردازش‌های دیجیتال را جبران می‌کند.

پروتکل ارائه‌شده در این پایان‌نامه، یک پروتکل چندگانه باهدف ارائه بهترین مسیرهای بهینه است که با برقراری یک مصالحه بین انتخاب مسیرهای کوتاه‌تر (در نتیجه انرژی مصرفی کمتر و طول عمر بیشتر) و یا مسیرهای با تأخیر قابل قبول، به این مهم دست می‌یابد. این پروتکل قصد یافتن بهترین مسیر از نظر توزیع متعادل بار با جلوگیری از تداخلات رادیویی را ندارد چراکه تعریف مدل شبکه با این هدف متفاوت خواهد بود؛ بنابراین در این مدل از شبکه از فرض تداخلات رادیویی در شبکه چشم‌پوشی کردیم. باوجوداینکه هر گره v_i در شبکه دو محدوده تحت پوشش برای ارسال پیام‌های کنترلی یا دیتا، با توجه به انرژی اولیه تعریف‌شده و کاربرد و وظیفه گره، می‌تواند داشته باشد، به دلیل نوع مدل شبکه تعریف‌شده که توضیح داده شد، این‌طور در نظر گرفتیم که هر گره در شبکه وظیفه ارسال بسته‌های دیتا را دارد.

با این تعریف، یک شبکه حسگر بی‌سیم به‌عنوان یک گراف وزن دار $G(V,E)$ مدل می‌شود که $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ مجموعه گره‌ها و $E = \{(i, j) | v_i, v_j \in V\}$ مجموعه

^۱Euclidean distance

^۲path loss exponent

پیوندهاست. این گره‌ها در یک درخت که ریشه آن گره مرکزی است قرار گرفته‌اند. گره S به‌عنوان یک منبع چندگانه و D مجموعه مقصدها در نظر گرفته شده است.

T یک درخت چندگانه برای ارسال است با این شرایط که $T(s, D) \subseteq G$ و در درخت، گره منبع S به‌عنوان ریشه درخت در نظر گرفته شده است و به مقصدها ختم می‌شود. هر پیوند (i, j) یک وزن تأخیر $(d_{i,j})$ و یک مسافت $(l_{i,j})$ دارد. $d_{i,j}$ تأخیر انتقال داده بین v_i و v_j را توصیف می‌کند. $l_{i,j}$ نشانگر فاصله اقلیدسی بین v_i و v_j است. هر دو $d_{i,j}$ و $l_{i,j}$ اعداد حقیقی مثبت هستند.

تأخیر مسیر بر روی درخت از منبع S به مقصد $v_t \in D$ به‌صورت زیر مشخص می‌شود:

$$\text{delay}(p_T(s, v_t)) = \sum_{(i,j) \in p_T(s, v_t)} d_{ij} \quad (2-3)$$

و سپس درخت DMS^1 برای پیدا کردن درختی با حداقل هزینه به کار گرفته می‌شود به‌طوری‌که:

$$\text{delay}(p_{T^*}(s, v_t)) \leq \delta, \forall v_t \in D \quad (3-3)$$

برای تأمین نیازمندی‌های تأخیر و مصرف انرژی بهینه کیفیت خدمات این مشخصات را تعیین کردیم که: δ تأخیر کلی قابل قبول از منبع S به مقصد $v_t \in D$ و $T(s, D)$ درخت چندگانه با حداقل هزینه است.

¹Delay – constrained Minimum Steiner

جدول ۳-۲: پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامتر	مقدار
اندازه جمعیت	بین ۱۰ تا ۵۰ متغیر
تعداد نسل‌ها	به تعداد تکرارها
تعداد اجرای هر سناریو	بین ده تا ۱۰۰ بار متغیر
توزیع جمعیت (در صورتی که بهتر از جمعیت قبلی باشد)	۱۰٪ از بهترین کروموزوم‌ها ۸۰٪ فرزندان از طریق عملگر ترکیب ۲۰٪ فرزندان از طریق عملگر جهش
توزیع جمعیت (در صورتی که بدتر از جمعیت قبلی باشد)	۲۰٪ از بهترین کروموزوم‌ها ۷۰٪ فرزندان از طریق عملگر ترکیب ۲۰٪ فرزندان از طریق عملگر جهش

۳-۵ مراحل الگوریتم پیشنهادی

با توجه به جدول انتخاب روش الگوریتم برای هر مرحله از الگوریتم به این صورت است:

۱- کدگذاری درختی Tree Encoding

۲- تابع برازش با در نظر گرفتن تأخیر و مسافت

۳- انتخاب ترکیب نخبه گرایانه Elitist Selection و چرخ رولت

۴- جهش با حذف درصدی از گره Boundary Based

۵- ترکیب درختی Tree Based

۳-۵-۱ کدگذاری

انواع مختلف کدگذاری مطابق با جدول وجود دارد که البته همه آن‌ها برای استفاده بر روی یک درخت مناسب نیستند. ما در این تحقیق، با استفاده از ساختار داده از یک

درخت، کروموزوم را توصیف می‌کنیم [۶۳] که در این روش یک کروموزوم یک درخت چندگانه است.

الگوریتم تولید کروموزوم به این صورت است:

ورودی: گراف G ، گره مبدأ S ، گره‌های مقصد D
خروجی: درخت اشتاینر T متصل کننده S به گره‌های مقصد راه‌اندازی اولیه: $T=0$
۱) گره S را در T قرار بده (انتخاب رأس مبدأ به‌عنوان ریشه درخت).
۲) مجموعه گره‌های همسایه T ، $N(T)$ را پیدا کن.
۳) مجموعه یال‌های متصل کننده گره‌های $N(T)$ به T ، $E[N(T)]$ را پیدا کن.
۴) یکی از یال‌های $E[N(T)]$ را به‌طور تصادفی انتخاب کن و آن را به درخت T اضافه کن
۵) بررسی کن آیا گره‌های مجموعه D در T وجود دارند؟ خیر به مرحله ۲ بازگرد
۶) گره‌های انتهایی از درخت T که در D نیست را از درخت حذف کن
۷) T را برگردان

ما در این بخش از الگوریتم جستجوی عمق اول تصادفی^۱ به‌منظور تولید کروموزوم درختی استفاده کردیم که یک الگوریتم جستجوی یک درخت یا گراف است. این الگوریتم از یک پشته برای مشخص کردن مسیر پیمایش استفاده می‌کند. گراف ورودی الگوریتم، پیش از اجرای الگوریتم تولیدشده است که گرافی است وزن دار، بدون جهت و همگن. هر یال در گراف دو وزن مسافت و تأخیر را دارد.

^۱ Random DFS: Random Depth First Search

۳-۵-۲ جمعیت اولیه

دو موضوع باید در روند مقداردهی اولیه در نظر گرفته شود (۱) سائز جمعیت (2) روش تشکیل جمعیت. ما برای تشکیل جمعیت اولیه به صورت درخت پوشای کمینه چندگانه تصادفی، از الگوریتم جستجوی عمق اول تصادفی کمک گرفته‌ایم [۶۴].

به این صورت که می‌خواهیم با گراف پیوسته، وزن دار و بدون جهت ورودی که ما وزن لبه‌ها را غیر منفی و برابر با مسافت طی شده بین گره‌ها و تأخیر در نظر گرفته‌ایم، به تعداد اعضای جمعیت، درخت‌های پوشای بهینه کمینه به‌عنوان کروموزوم تولید کنیم. مجموعه گره‌های یک درخت پوشای T برای گراف، همان مجموعه گره‌های گراف است اما مجموعه لبه‌های درخت E(N) یک زیرمجموعه از مجموعه یال‌های گراف است.

۳-۵-۳ تابع برازش:

تابع برازش باید عملکرد کروموزوم‌ها را منعکس کند، هرچقدر تابع برازش مقدار بزرگ‌تری داشته باشد به این معنی است که عملکرد بهتری وجود داشته است. در این پایان‌نامه تابع را این‌چنین در نظر گرفتیم:

$$F(T) = \frac{a}{\sum_{v_i \in T} b[A1(ri')^\beta + A2]} \prod_{vt \in D} \Phi(\text{delay}(pT(s, vt)) - \delta) \quad (۴-۳)$$

$$\Phi(Z) \begin{cases} 1, & \text{if } Z \leq 0 \\ \gamma, & \text{if } Z > 0 \end{cases} \quad (۵-۳)$$

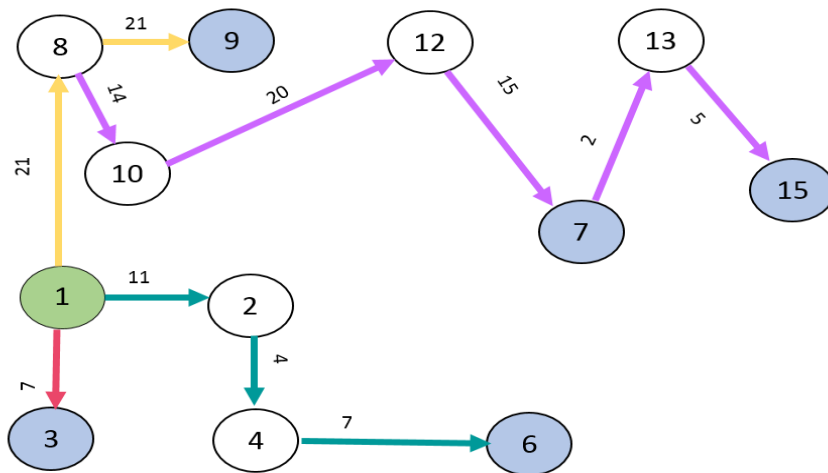
ثابت‌ها در معادله برای محاسبه هزینه تعریف شده‌اند که ما مقادیر آن‌ها را با توجه به الگوریتم ElitismGA که در ادامه نتایج آن را با معادله محاسبه هزینه مشابه مقایسه نمودیم، متناسب قرار داده‌ایم. ضریب وزن a نیز یک عدد حقیقی و مثبت است، δ ماکزیمم تأخیر قابل قبول از S به $v_t \in D$ که $v_t \in D$ است. Φ تابع ترمیم^۱ است که مقدار γ ($0 < \gamma < 1$)، درجه ترمیم را مشخص می‌کند هرچقدر مقدار γ کوچک‌تر باشد درجه ترمیم بزرگ‌تر خواهد بود ما در اینجا این مقدار را برابر با 0.5 در نظر گرفتیم این اجازه می‌دهد تا مصرف انرژی یک درخت چندگانه کاهش پیدا کند و در مقابل نیز زمان سرویس‌دهی شبکه ماکزیمم شود. ri' ماکزیمم فاصله بین v_i, v_j در صورت $v_j \in B(v_i)$ اگر مجموعه $B(v_i)$ را مجموعه‌ای از گره‌های موفق بی‌واسطه (گره‌های همسایه) v_i بر روی درخت T در نظر بگیریم. هزینه انرژی گره‌های برگ^۲ آصر است. در یک ساختار داده درختی، هر گره تعدادی گره فرزند دارد و درخت به‌طور کلی برخلاف آنچه در طبیعت می‌بینیم به سمت پایین رشد می‌کند و بالاترین گره در درخت ریشه نام دارد که در اینجا گره منبع را ریشه فرض کرده‌ایم و پایین‌ترین گره‌های یک درخت گره‌های برگ نام دارند که چون این گره‌ها زیرترین گره هستند هیچ فرزندی ندارند.

بنابراین برای محاسبه تابع برآزش با این معادله می‌بایست ابتدا هزینه هر گره در درخت را محاسبه کنیم، برای این منظور با در نظر گرفتن این مطلب که در بخش قبل برای هر درخت یک ماتریس مسافت و یک ماتریس تأخیر به دست آورده شده است که هر درایه آن‌ها به ترتیب وزن مسافت یا تأخیر برای حرکت از گره v_i به v_j است، ابتدا برای هر گره i مجموعه همسایه‌های آن را پیدا کرده و $B(v_i)$ می‌نامیم، سپس از بین یال‌هایی که گره را به همسایگانش متصل می‌کند، دورترین همسایه را انتخاب و مقدار مسافت تا آن همسایه را در

^۱Penalty function

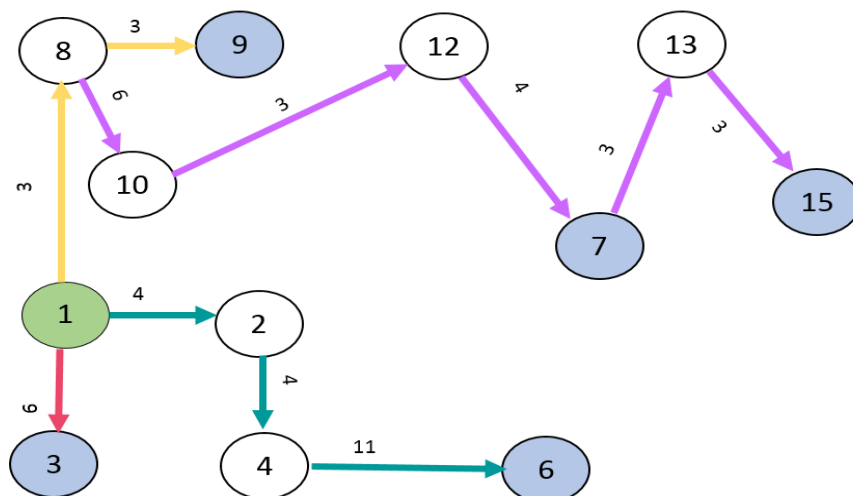
^۲ Leaf nodes

ri' ذخیره می‌کنیم. ؛ و قرار دادن این مقادیر در رابطه، مخرج معادله به دست می‌آید.



شکل ۳-۴: انتخاب دورترین همسایه‌ها و مسیر به وجود آمده در محاسبه تابع هزینه

در مرحله بعد برای هر گره مقصد تأخیر مسیر از گره مبدأ تا آن گره را به صورت مجموع مقادیر تأخیر تمامی یال‌های مسیر، محاسبه می‌کنیم و مقدار به دست آمده برای هر گره مقصد را با ماکزیمم تأخیر قابل قبول (δ) که در این پایان‌نامه برابر با ۱۸ در نظر گرفتیم، مقایسه می‌کنیم در صورتی که مقدار به دست آمده کمتر از ۱۸ بود، برای تابع ترمیم (Φ) مقدار ۱ را در نظر می‌گیریم و در غیر این صورت مقدار $1/2$ منظور خواهد شد؛ و در نهایت با جایگذاری تمامی محاسبات تابع برآزش به دست خواهد آمد.



شکل ۳-۵: تأخیر مسیر موجود بین مبدأ و مقصدها

۳-۵-۴ انتخاب والدین

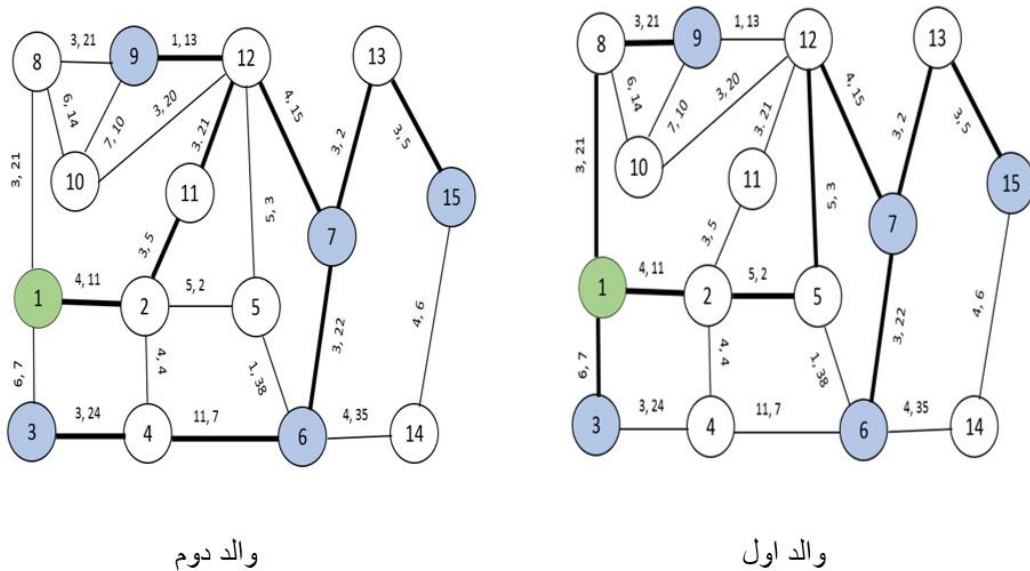
در بخش انتخاب برای رسیدن به هدف باید از روش‌هایی استفاده شود که گوناگونی جمعیت را حفظ نمایند تا به این ترتیب از همگرایی زودرس جلوگیری گردد. پس از انجام روال رتبه‌بندی نوبت به انتخاب نهایی می‌رسد. ما برای رتبه‌بندی پیش از انتخاب والدین از مدل نخبه‌سالاری^۱ استفاده کرده‌ایم به این صورت که ابتدا تابع برآزش را برای تمامی کروموزوم‌های درختی تولیدشده در مراحل قبل محاسبه می‌کنیم و سپس ده درصد از کروموزوم‌هایی که مقدار تابع برآزش برای آن‌ها بیشترین مقدار را داشته به‌طور مستقیم به‌عنوان فرزند کپی می‌کنیم؛ بنابراین با روش نخبه‌سالاری، بهترین کروموزوم یا چندین کروموزوم برتر در جمعیت جدید کپی می‌شوند. با باقی‌مانده روش کلاسیک که ما از مدل انتخاب چرخ رولت^۲ استفاده کرده‌ایم، رفتار می‌شود. نخبه‌سالاری می‌تواند کارایی الگوریتم ژنتیک را به‌سرعت افزایش دهد. چون از گم کردن بهترین یافته جلوگیری می‌کند.

انتخاب چرخ رولت یک روش نمونه‌برداری شانسی با جایگزینی است. این روش مبتنی بر شانس به این صورت انجام می‌شود که کلیه افراد بر مبنای میزان شایستگی خود بر روی نواحی هم‌جوار یک خط نگاشت می‌شوند. اندازه ناحیه مربوط به هر فرد با توجه به اندازه شایستگی آن تعیین می‌گردد. سپس یک عدد تصادفی تولیدشده و با توجه به اندازه این عدد فرد انتخاب می‌شود. این فرآیند این‌قدر تکرار می‌شود تا اینکه تعداد موردنظر والدین تأمین گردد. روش انتخاب چرخ رولت دارای بایاس صفر است (بایاس: برابر است با قدر مطلق اختلاف بین شایستگی نرمال شده یک فرد و احتمال تولیدمثل آن) به این معنی که بین شایستگی یک فرد و احتمال انتخاب آن فاصله‌ای وجود ندارد.

^۱ Elitist model

^۲ Roulette wheel

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد هر یال در درخت دارای دو وزن تأخیر و مسافت است برای انتخاب اینکه معیار سنجش را در مراحل تولید فرزندان و اعمال عملگرهای ژنتیک، تأخیر در نظر بگیریم یا مسافت، زمانی که ده درصد از بهترین‌ها انتخاب شدند بررسی می‌کنیم که آیا از این‌بین کروموزومی شرط تأخیر را برآورده می‌کند یا خیر؟ در صورتی که حداقل یک درخت کروموزوم این شرط را در مقایسه با معیار حداقل تأخیر قابل قبول برآورده نمود، از این‌پس معیار سنجش را بر مبنای مسافت قرار می‌دهیم و در غیر این صورت معیار را، تأخیر در نظر می‌گیریم.

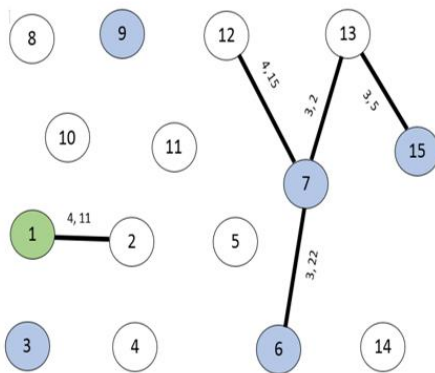


شکل ۳-۶: نمونه دو والد انتخاب‌شده با ۱۵ گره برای اعمال مرحله ترکیب

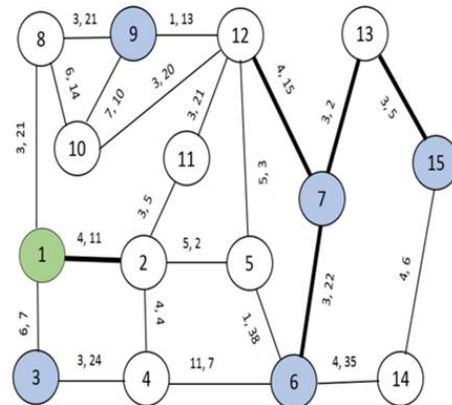
۳-۵-۵ ترکیب

با استفاده از این بخش، اطلاعات مربوط به والدین باهم ترکیب شده و افراد جدید به وجود می‌آیند. با توجه به ساختار افراد نوع روش ترکیبی مشخص می‌شود. حال با توجه به ساختار درختی والدین، در این مرحله روش زیر را برای تولید فرزند از والدین انتخاب‌شده در مرحله قبل را در نظر گرفتیم به این صورت که در مرحله اول یال‌های مشترک در دو درخت والد را می‌یابیم و آن‌ها را به‌طور مستقیم در فرزند کپی می‌کنیم، حال پس از انجام

این مرحله مجموعه‌ای از گره‌ها وجود دارند که ممکن است تعدادی از آن‌ها به کمک یال‌های مشترک کپی شده، به هم متصل باشند و مابقی اتصالی با سایر گره‌ها نداشته باشند، بنابراین نتیجه شباهتی به درخت ندارد و پذیرفتن آن به‌عنوان درخت فرزند ممکن نیست.



حاصل پس از کپی کردن یال‌های مشترک در فرزند و بی شباهت به درخت



نمونه یک درخت فرزند

شکل ۳-۷: نمونه یک درخت فرزند در اولین مرحله از اجرای عملگر ترکیب

برای حل این مهم و تشکیل درخت فرزند ما از الگوریتم ادغام^۱ استفاده کرده‌ایم. در مرحله دوم و به‌منظور اجرای الگوریتم ادغام، اجزای متصل به کمک جستجو با استفاده از الگوریتم جستجوی اول سطح^۲ به‌صورت سوپر گره ظاهر می‌شوند. این مرحله به این صورت انجام گردیده که نخست گره آغازین S را ملاقات می‌کنیم، آنگاه تمام گره‌های مجاور S را نیز ملاقات می‌کنیم و برچسب می‌زنیم و همین کار را برای تمام همسایه‌های گره‌های مجاور S نیز تکرار می‌کنیم. مادامی‌که هر گره ملاقات می‌شود آن را در یک صف قرار می‌دهیم. زمانی که تمام گره‌ها برچسب ملاقات شده زده شدند و لیست مجاورتی کامل شد

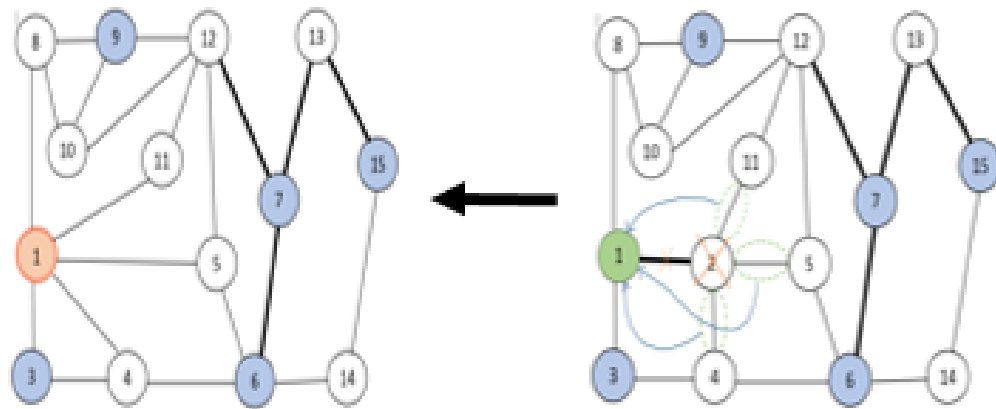
^۱Integration algorithm

^۲Breadth first search

گره از صف خارج می‌شود و این روال جستجو هنگامی خاتمه می‌یابد که صف تهی گردد. در این مرحله اجزای متصل به گره‌های مهم را پیدا می‌کنیم. منظور از گره‌های مهم، گره مبدأ و گره‌های مقصد است؛ بنابراین الگوریتم را با انتخاب گره مبدأ به‌عنوان گره آغازکننده، ادامه می‌دهیم و بررسی می‌کنیم که اگر این گره مهم با یک یال مشترک کپی شده از والدین، به گره‌ای از همسایگانش متصل بود آن دو را با حذف یال مشترک، یک سوپر گره در نظر می‌گیریم حال اگر بین این سوپر گره و سایر گره‌های همسایه^۱ جدید، اتصال دیگری با استفاده از یال‌های مشترک کپی شده وجود نداشت، الگوریتم را در مرحله بعد پی می‌گیریم در غیر این صورت تا یافتن تمامی سوپر گره‌ها ادامه می‌دهیم. همین کار تکرار می‌شود تا زمانی که با استفاده از سوپر گراف‌ها، گراف جدیدی حاصل شود. ذکر این نکات الزامی است که در هر مرحله که ادغام صورت می‌گیرد می‌بایست گره‌های ادغام‌شده با لیست گره‌های مقصد مقایسه شوند تا اگر گره‌ای از مجموعه مقصدها در بین گره‌های ادغامی مشاهده شد، آن گره از مجموعه گره‌های مهم حذف شود و نیازی به بررسی اضافی و اضافه کردن حجم محاسبات نباشد. همچنین ما در هر مرحله تشکیل سوپر گره، تمامی همسایگان هر دو گره را با توجه به گراف ورودی به سوپر گره ایجادشده متصل می‌کردیم و سپس کار ادامه می‌یافت، حال اگر نیاز به چندین بار ادغام در یک مرحله بود و این سبب ایجاد یال‌های موازی می‌شد، لازم است تا از دو یال موازی یکی انتخاب شود بنابراین با توجه به معیار سنجشی که در بخش انتخاب مشخص شده است، یک یال انتخاب می‌شود. در مرحله چهارم با کوتاه‌ترین مسیرها از گره مبدأ به گره‌های مقصد که در این مرحله به‌روزرسانی شده‌اند و مجموعه‌ای جدید از گره‌های مقصد با تعداد گره کمتر را ایجاد کرده‌اند، درختی جدید به وجود می‌آید. برای یافتن کوتاه‌ترین مسیرها، الگوریتم دایکسترا^۱ را بر روی گراف حاصل از مرحله سوم اعمال می‌کنیم؛ و در اینجا هم این نکته ذکر می‌شود که باید در حین اجرای

^۱Dijkstra Algorithm

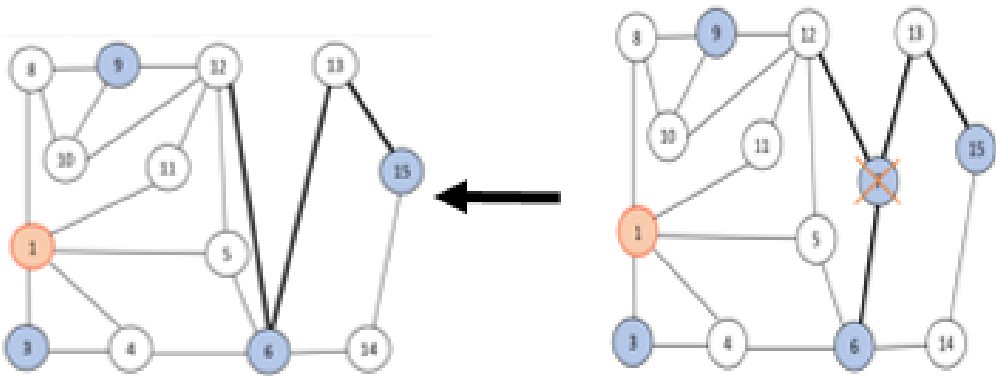
الگوریتم دایکسترا با بررسی پی‌درپی مجموعه گره‌های مقصد، از مشاهده شدن تک‌تک مقصدها اطمینان حاصل کنیم همچنین با این کار در صورت قرار گرفتن یک گره مقصد در مسیر یافت شده آن را از لیست مقصدهای مشاهده حذف می‌کنیم تا از حجم محاسبات اضافی کاسته شود. الگوریتم دایکسترا که الگوریتمی کاربردی برای یافتن مسیرهای مناسب در مسائل تک منبعی است به این صورت عمل می‌کند که مجموعه تهی برای گره‌ها و سوپر گره‌ها که اکنون گره محسوب می‌شوند و یال‌ها در نظر می‌گیریم، سپس از سوپر گره شامل گره منبع کار را آغاز می‌کنیم و نزدیک‌ترین گره را بازمه با توجه به معیار مشخص شده در مرحله پیش انتخاب، یافته و به مجموعه یال‌ها اضافه می‌کنیم و این کار را تا زمانی که مجموعه گره‌ها با تعداد کل گره‌های درخت فرزند ایجادشده برابر شوند، ادامه می‌دهیم. مرحله پنجم مرحله یافتن یال معادل است یا خارج کردن گره‌ها از حالت سوپر گره. روش انجام این مرحله به این صورت است که یال‌های موجود در بین گره‌های غیر ادغامی و گره‌های ادغام‌شده در سوپر گره را می‌یابیم که در صورت وجود بیش از یک یال، با توجه به معیار سنجش مشخص شده در بخش انتخاب، یکی از آن‌ها را انتخاب می‌کنیم، این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که بین یک گره غیر ادغامی در گراف ورودی و هر دو گره ادغام‌شده یالی وجود داشته باشد.



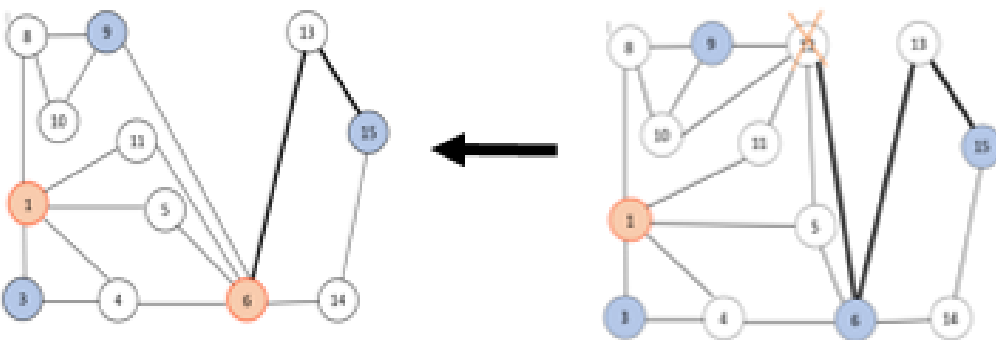
ایجاد اولین سوپرگره

مرحله اول در اصلاح درخت فرزند با 15 گره

1

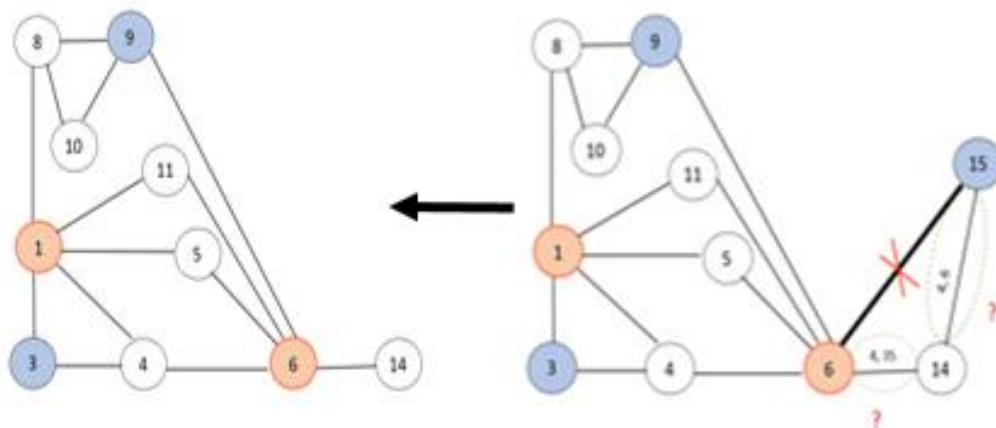


مرحله دوم

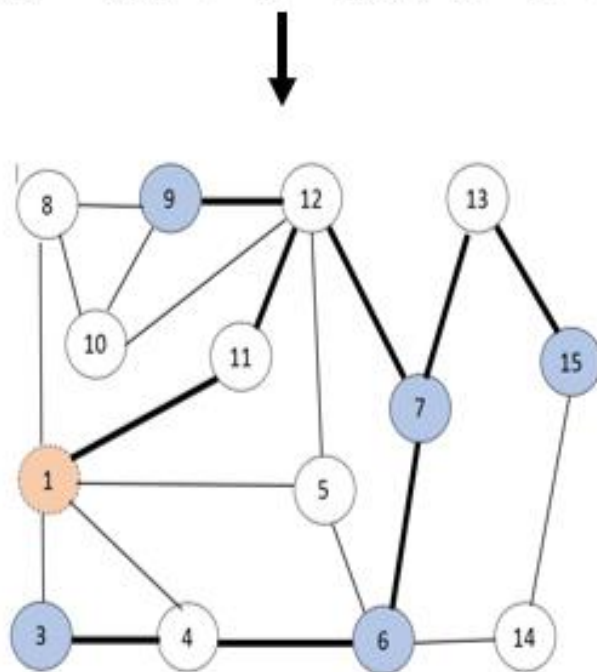


مرحله سوم

شکل ۳-۸: نمایش سه مرحله اول اصلاح فرزند حاصل از ترکیب



و در نهایت نمونه یک درخت فرزند پس از اتمام مرحله یافتن آوند معادل و اعمال دایکسترا



شکل ۳-۹: ادامه مراحل اصلاح درخت فرزند

۳-۵-۶ جهش

مرحله جهش در الگوریتم ژنتیک برای افزودن گوناگونی بیشتر و جلوگیری از گیرکردن در مینیمم محلی، انجام می‌شود به این صورت که در این مرحله افراد به صورت

تصادفی دچار تغییر می‌شوند. برای تولید یک فرزند از والد، به‌طور تصادفی ۳۰ درصد از یال‌های والد را حذف می‌کنیم که در نتیجه این تصمیم، مانند مرحله ترکیب با تعدادی گره متصل و تعدادی گره آزاد مواجه می‌شویم که با استفاده از همان روش بیان‌شده در بخش قبل، درخت فرزند را ایجاد می‌کنیم.

۳-۵-۷ جایگزینی (ابقا)

طی این مرحله اگر تعداد فرزندان از جمعیت موردنیاز برای نسل بعد کمتر باشد که عملیات جایگزینی بدون مشکل انجام می‌شود اما در صورتی که تعداد فرزندان از جمعیت موردنیاز بیشتر باشد باید طبق روال جایگزینی عده‌ای از فرزندان انتخاب‌شده و در جمعیت جدید جایگزین شوند.

به این دلیل که ممکن است طی این عملیات والدینی که دارای شایستگی بالایی هستند نیز از بین بروند از ترکیبی از روش‌های جایگزینی نخبه سالار و شایسته‌سالار استفاده شده تا از بروز این مشکل جلوگیری شود به این معنی که در هر نسل ضعیف‌ترین والدین با بهترین فرزندان جایگزین می‌شوند. در طی روال جایگزینی ممکن است عده‌ای از والدین با فرزندان ضعیف‌تر نسبت به خود جایگزین شوند ولی مشکلی ایجاد نمی‌شود زیرا در نسل‌های بعدی جایگزین خواهد شد.

این چرخه تکاملی از انتخاب، جهش و ابقا تا برآورده شدن معیارهای مسئله ادامه پیدا می‌کند.

۳-۶ نتایج شبیه‌سازی

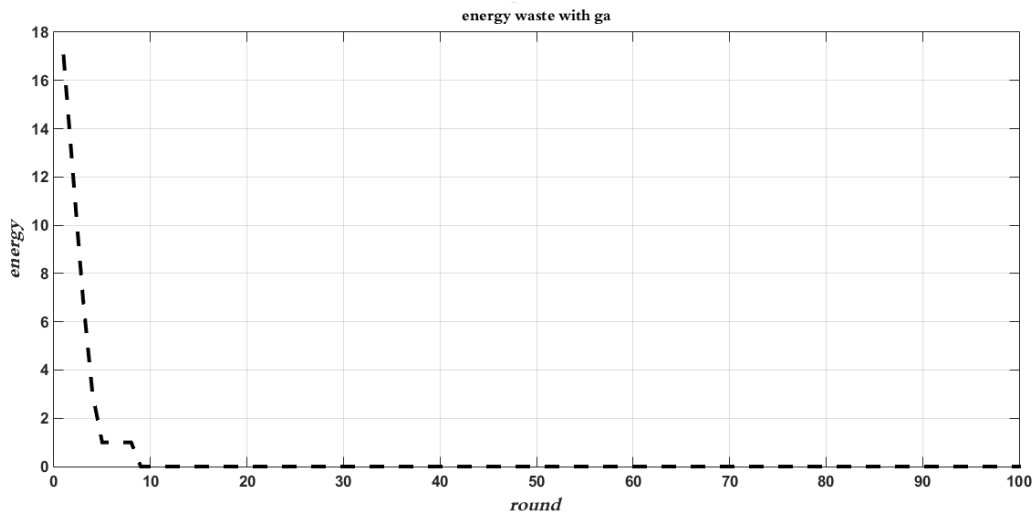
نتایج شبیه‌سازی را به‌منظور مقایسه برای الگوریتم پیشنهادی و روش ELITIST-GA بررسی نمودیم. برای رعایت عدالت در مقایسه شرایط شبکه را یکسان و به‌صورت زیر

در نظر گرفته ایم:

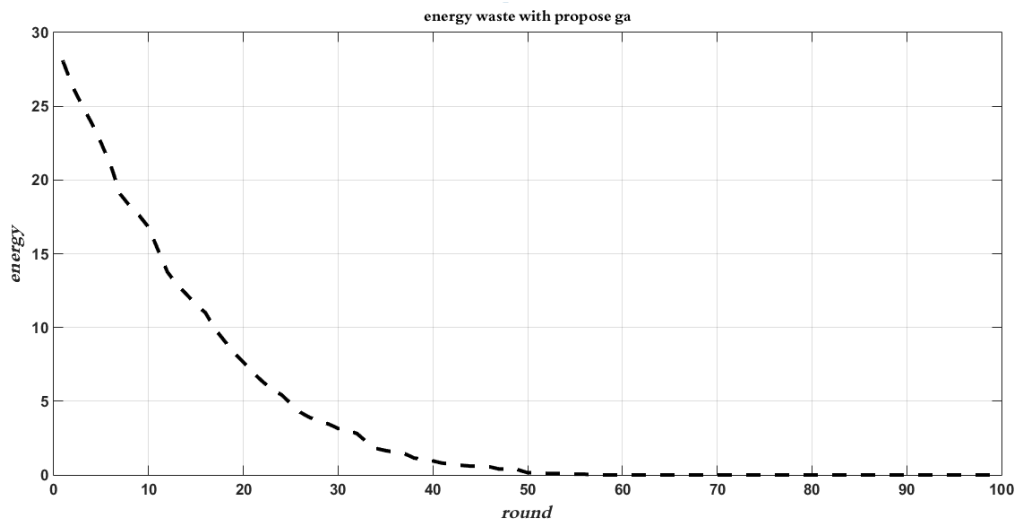
- شبیه‌سازی تحت محیط برنامه‌ریزی متلب
- گره‌های حسگر همگن بوده و دارای مقدار محدود انرژی هستند
- تمام گره‌ها دارای انرژی اولیه مشخص و یکسان هستند
- تعداد گره‌های حسگر از ۱۰ تا ۵۰ متغیر است
- حسگرها به‌طور تصادفی در محیط ۱۰۰ در ۱۰۰ سانتی‌متر توزیع می‌شوند
- گره چاهک در مختصات ۱۰۰ و ۱۰۰ است
- هر گره به انتقال ۱۰ پیغام ۴۰۰ بیت می‌پردازد

با این شرایط، الگوریتم برای حداکثر ۵۰ گره سنجیده شده است و این‌گونه مشاهده شده که بهبودی مناسبی در طول عمر شبکه با استفاده از GA پیشنهادی وجود دارد. طول عمر شبکه را در این پایان‌نامه مدت‌زمانی است که اولین گره مرده در شبکه به وجود آید. در شکل ۳-۱۰ و شکل ۳-۱۱ شکل طول عمر شبکه را برای الگوریتم ژنتیک ساده و الگوریتم پیشنهادی ترسیم نمودیم که مشاهده می‌کنیم تصمیمات اتخاذشده در ساختار الگوریتم ژنتیک در روند بهبود کارایی الگوریتم ژنتیک با توجه به هدف در نظر گرفته شده، تأثیرگذار بوده است. این شکل‌ها کاهش مجموع انرژی گره‌ها را در برابر افزایش تعداد اجرای برنامه، نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این خروجی زمانی است که راندهای خطا را نیز در مجموع راندها به حساب بیاوریم. در روش پیشنهادی خطا را به این صورت در نظر می‌گیریم که خروجی هر راند از الگوریتم را با مقدار آستانه‌ای که برای تأخیر داریم مقایسه می‌کنیم در صورتی که خروجی بدست آمده شرط تأخیر را برآورده نکرد این یک خطا

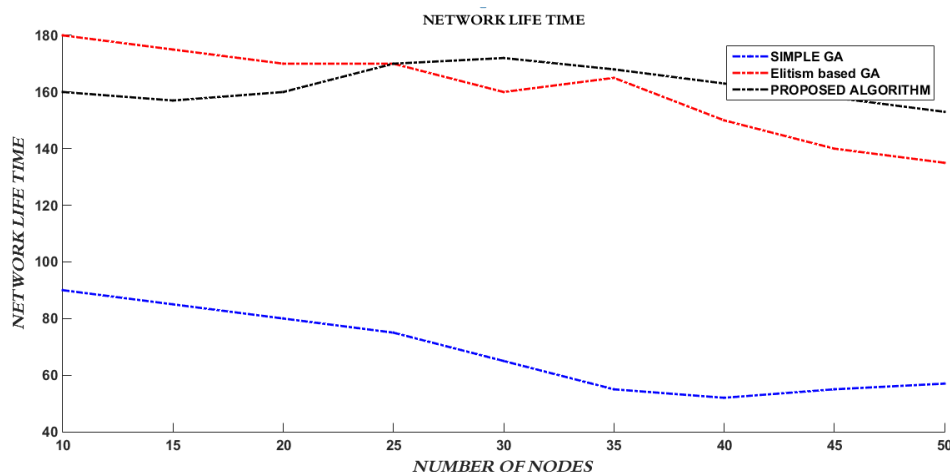
محسوب می‌شود؛ و خروجی مربوط به انرژی در دو حالت ترسیم شده است شکل ۳-۱۱ نمایش هنگامی است که خروجی‌های خطا نیز از انرژی اولیه گره‌ها کاسته باشد؛ و در شکل مقایسه طول عمر برای سه الگوریتم در حالت بدون خطا و برای تعداد متغییر گره‌ها صورت گرفته است.



شکل ۳-۱۰: نمایش طول عمر شبکه در الگوریتم ژنتیک ساده



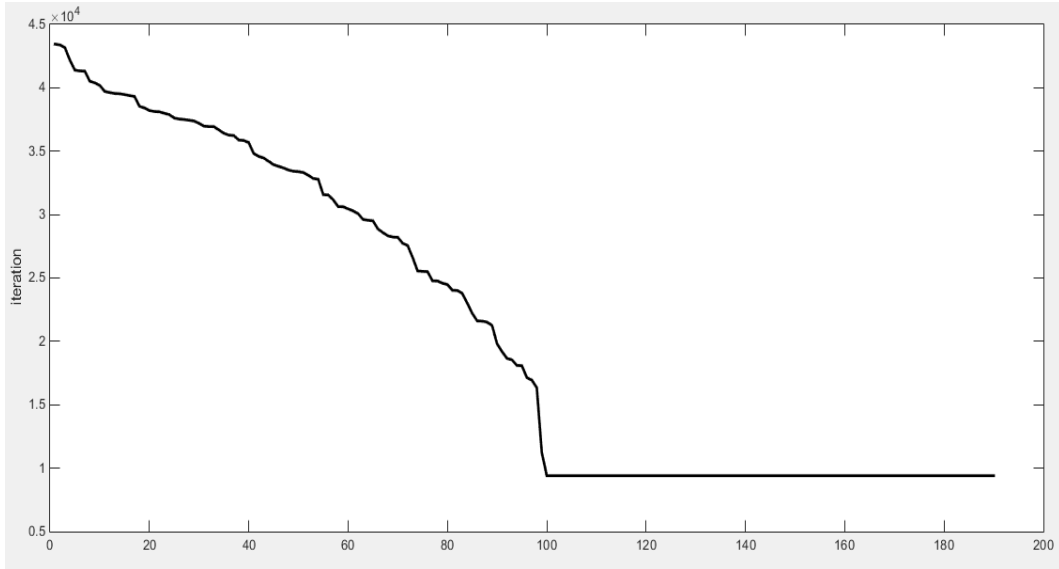
شکل ۳-۱۱: نمایش بهبود طول عمر شبکه توسط پروتکل پیشنهادی



شکل ۳-۱۲ مقایسه طول عمر شبکه در الگوریتم پیشنهادی و ElitismGA با simpleGA

همچنین مشاهده می‌کنیم که افزایش تعداد گره‌ها در الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم ElitismGA، تأثیر کمتری در کاهش طول عمر دارد و این می‌تواند بیان‌گر این موضوع باشد که الگوریتم پیشنهادی در شبکه‌هایی در مقیاس متوسط نیز از کارایی خوبی برخوردار است.

همچنین با افزایش تعداد گره‌ها، اگر تعداد تکرارها بیشتر شوند ممکن است جواب‌های بهتری نیز پیدا شوند که این به دلیل ماهیت تصادفی بودن انتخاب‌ها در الگوریتم‌های مبتنی بر ژنتیک است. پس از بررسی‌های انجام‌شده، مشاهده شد که با تنظیم بیشینه تکرارها به عددی بین ۵۰ تا ۷۰ در بیشتر موارد جواب‌های مناسب به دست می‌آید. همچنین، بررسی‌ها نشان می‌داد که افزایش تعداد تکرارها به عددهای بزرگ‌تر بهبودهای بسیار اندکی در جواب‌ها می‌دهد که با توجه به مصرف انرژی آن، برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌صرفه نخواهد بود. علاوه بر این، در الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی شده، متوسط تعداد همسایه‌های هر گره قابل تنظیم است که این خود در موارد ازدیاد گره‌ها در شبکه می‌تواند راه‌گشا باشد. در شکل نیز بهبود تابع هدف قابل مشاهده است



شکل ۳-۱۳ نمایش بهبود تابع هدف

۴ فصل چهارم:

نتیجه‌گیری و چشم‌انداز کارهای آتی

در این پایان‌نامه یک پروتکل مسیریابی چندگانه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه دادیم با هدف بهبود معیارهای کیفیت خدمات که در راستای این هدف سعی کردیم ضمن کاهش تأخیر انتها به انتها با بهبود مصرف انرژی، طول عمر شبکه را نیز افزایش دهیم.

علاوه بر عوامل و محدودیت‌هایی که در فصل اول در ارائه کیفیت خدمات بیان شد، توپولوژی شبکه و شرایط محیطی منطقه‌ای که گره‌های حسگر در آن توزیع شده‌اند نیز، از اهمیت زیادی در تأمین کیفیت خدمات در شبکه برخوردار است که می‌تواند در بر روی برآورده کردن نیازمندی‌ها در تمامی سطوح شبکه تأثیرگذار باشد که با توجه به گستردگی موضوع ما از تأثیر این موضوع بر روش مسیریابی ارائه‌شده چشم‌پوشی کرده‌ایم که خود می‌تواند در کارهای آتی مورد تحقیق بیشتر قرار گیرد.

سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی یک نقص نسبی نسبت به الگوریتم ژنتیک دارند؛ زیرا این الگوریتم‌ها نیازمند نوعی حدس اولیه در ارتباط با راه‌حل می‌باشند که این حدس اولیه تأثیر زیادی بر روی نتیجه نهایی دارد برخلاف این روش‌ها، الگوریتم ژنتیک تنها نیازمند یک محدوده جستجو است که این محدوده با توجه به دانش اولیه از خصوصیات فیزیکی سیستم قابل‌طرح است. ژنتیک به‌صورت مؤثر کل فضای راه‌حل‌ها را برای همه نقاط مورد جستجو قرار می‌دهد. این نوع جستجو باعث می‌شود تا از افتادن در تله نقاط بهینه محلی دور باشد، به این دلیل که اولاً جمعیت کاملاً به‌صورت تصادفی ایجاد شده و کل فضای جستجو را پوشش می‌دهد و در ناحیه کوچک محدود نیست. دوماً عملگرهایی نظیر ترکیب و جهش از افتادن الگوریتم در تله نقاط بهینه محلی تا حد زیادی جلوگیری می‌کند. با این وجود در صورتی که شرط توقف الگوریتم به‌درستی تعیین نشده باشد، هیچ تضمینی وجود ندارد که الگوریتم به راه‌حل بهینه همگرا شده باشد و ممکن است الگوریتم روی یکی از ماکسیمم‌های محلی متوقف شده باشد؛ بنابراین ما برای این مهم نهایت سعی را داشتیم

تا به بهترین جواب‌های ممکن برسیم.

عموماً الگوریتم ژنتیک از یک سازوکار جستجوی محلی برای یافتن کروموزوم بهینه در یک ناحیه استفاده می‌کند؛ بنابراین در صورت استفاده از الگوریتم هیبریدی، ژنتیک به تعداد موردنیاز در نواحی مناسب تکرار می‌شود. اگر شکل کلی ناحیه مورد جستجو از قبل مشخص باشد، تعداد این نواحی مناسب به آسانی قابل تخمین خواهد بود که در اینجا با توجه به تصادفی در نظر گرفتن فضای جستجو، یافتن عدد دقیق برای این معیار ممکن نبود.

با وجود اینکه قانون کلی الگوریتم‌های هیبریدی به این صورت است که در هر تعداد مشخصی از نسل استفاده می‌شود و طی آن کاربر چند درصد از بهترین‌های جمعیت را به سمت مقدار پیشینه محلی توسط توابع حذف تکرار سوق می‌دهد اما می‌توان هیبریدی بودن را برای رسیدن به این هدف که کروموزوم‌های برتر در آن نسل به نسل بعد منتقل شوند، به این صورت که ما مورد استفاده قرار دادیم نیز تعریف کرد؛ زیرا هدف از طراحی الگوریتم‌های ژنتیک هیبرید استفاده از توابع اکتشافی در جهت بهبود کیفیت فرزندان تولیدشده طی عملیات ترکیب است و ما نیز سعی در بهبود کیفیت فرزندان این مرحله از الگوریتم داریم.

مسیریابی که ارائه دادیم همچنین چندگانه بوده بنابراین می‌تواند برخی از مزایای روش‌های مسیریابی چندگانه را در برگیرد. از مزایای این نوع از روش‌ها می‌توان بهبود قابلیت اطمینان و تحمل‌پذیری در مقابل خرابی، توزیع متعادل بار، افزایش پهنای باند و کاهش تأخیر را نام برد.

در فصل دوم برترین الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را شرح دادیم و در این فصل به منظور بیان نتیجه گیری مقایسه بین آن الگوریتم‌ها را در چندین

جدول بیان نمودیم. در جدول ۴-۱ پروتکل‌ها را با معیاری از کیفیت خدمات که سعی در بهبود آن داشتند مقایسه نمودیم. در جدول ۲-۴ تفاوت روش‌های انتخابی هریک از پروتکل‌ها برای انجام هر مرحله از الگوریتم ژنتیک را به صورت خلاصه نمایش دادیم. در جدول ۳-۴ نقاط قوت و ضعف هر کدام از پروتکل‌ها نسبت به الگوریتم ژنتیک بررسی و بیان شده است. با توجه به این بررسی‌های انجام شده الگوریتم پیشنهادی در مواردی که اطمینان از حصول بسته در مقصد اهمیت زیادی داشته باشد مناسب نیست اما به جای آن الگوریتم پیشنهادی توانسته است تا با پیاده سازی نه چندان پیچیده چون پروتکل QuEst و به کار گیری روش چند گانه، قابلیت ارسال بهینه هم زمان بسته اطلاعات از منبع به چندین مقصد مشخص را داشته باشد.

جدول ۴-۱: مقایسه پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

پروتکل مسیریابی	فن کاهش انرژی	معیار محاسبه طول عمر شبکه	معیارهای کیفیت خدمات بررسی شده
GA routing	جمع‌آوری داده	محاسبه و بهبود انرژی تا زمانی که اولین گره انرژی‌اش تمام شود	تنها تا حدودی کاهش مصرف انرژی
GA-EECP	جمع‌آوری داده	محاسبه و بهبود انرژی تا زمانی که اولین گره انرژی‌اش تمام شود	کاهش مصرف انرژی
ELITIST-GA	کنترل مصرف انرژی با مسافت	محاسبه و بهبود انرژی تا زمانی که اولین گره انرژی‌اش تمام شود.	افزایش طول عمر شبکه
QDGRP	مدل تحویل داده	نرخ بسته‌های دریافت شده وقتی هیچ اطلاعات جدیدی نمی‌تواند به ایستگاه اصلی ارسال شود.	تأخیر انتها به انتها و انرژی باقیمانده حسگر
EDRP	نحوه آرایش و یا توپولوژی گره‌ها	زمان سپری‌شده تا پیدایش اولین گره مرده	تأخیر انتها به انتها و افزایش طول عمر شبکه
QG-QoS	مدل تحویل داده	محاسبه و بهبود انرژی تا زمانی که اولین گره انرژی‌اش تمام شود	پهنای باند و تأخیر
QuESt	جمع‌آوری و یا ادغام داده‌ها	محاسبه و بهبود انرژی تا زمانی که اولین گره انرژی‌اش تمام شود	پهنای باند و تأخیر
The proposed protocol	نحوه آرایش و یا توپولوژی گره‌ها	محاسبه و بهبود انرژی تا زمانی که اولین گره انرژی‌اش تمام شود	تأخیر انتها به انتها و افزایش طول عمر شبکه

جدول ۴-۲ بررسی روش انتخابی هر یک از پروتکل‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

پروتکل مسیریابی	مدل کروموزوم	انتخاب	ترکیب	جهش
GA routing	یک درخت جمع آوری داده به صورت یک رشته باینری توصیف می‌شود و یک کروموزوم به تعداد این درخت‌ها، ژن باینری دارد	انتخاب تصادفی	تک نقطه‌ای	تصادفی
GA-EECP	یک رشته بیتی	انتخاب تصادفی	تک نقطه‌ای	انتخاب یک بیت به تصادف
ELITIST-GA	رشته بیتی تصادفی	تصادفی	دو نقطه‌ای	تغییر تصادفی یک ژن
QDGRP	ایجاد بسته‌های ژنتیک با کدگذاری دنباله چرخشی	با توجه به آگاهی از دریافت بسته‌ها در مدت زمان مشخص	تک نقطه‌ای	تسلسل جغرافیایی و درخواست بسته توسط گره‌ها
EDRP	یک رشته بیتی باینری	بر اساس انرژی اولیه گره‌ها	دو نقطه‌ای	*توضیح داده نشده است
QG-QoS	کوانتوم کروموزوم	انتخاب تصادفی کروموزوم سپس انتخاب تصادفی چند ژن یا کوانتوم بیت از آن	همان مرحله بروز رسانی کوانتوم بیت با عملگر گیت چرخشی	اجرای عملگر گیت معکوس کننده بر روی کوانتوم بیت‌های انتخاب شده
QuESt	یک رشته از مسیرها	انتخاب تصادفی تعدادی از رشته‌های کروموزوم برای ورود به مرحله مقایسه و برنده این مقایسه به مرحله بهینه سازی وارد خواهد شد	تک نقطه‌ای	تک نقطه‌ای
The proposed protocol	درختی و حفظ فرمت درختی در مرحله ترکیب و جهش	چرخ رولت	ادغام درخت‌ها	برش تصادفی بخشی از درخت و اصلاح مجدد

جدول ۴-۳: مقایسه نقاط ضعف و قوت پروتکل پیشنهادی نسبت به سایر پروتکل‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

مقایسه پروتکل پیشنهادی با هر یک از پروتکل‌های موجود		پروتکل مسیریابی
نقاط ضعف	برتری	
بهبود کم انرژی و انتخاب ضعیف والدین	کاهش محاسبات	GA routing
ایجاد هزینه‌های اضافی به علت نیاز مداوم به جمع‌آوری داده‌ها توسط گره چاهک	دارایی کارایی در شبکه توزیع به صورت مشبک علاوه بر فضای تصادفی	GA-ECEP
تابع تناسب ضعیف	همگرایی سریع‌تر و بررسی فرزندان از نظر آستانه مسافت	ELITIST-GA
چندگانه نبودن و ارسال بسته بین هر جفت منبع و مقصد زیاد بودن تأخیر ارسال یا جهش غیر مناسب برای شبکه‌های در مقیاس بزرگ	اطمینان از حصول بسته با توجه به در نظر گرفتن میزان انرژی باقی مانده پیش از ارسال	QDGRP
چندگانه نبودن مصرف انرژی بیشتر	در نظر گرفتن تأخیر پرش و سرعت حصول بسته و تعیین انرژی اولیه متغیر برای گره‌ها	EDRP
کارایی مثبت الگوریتم تنها در شبکه‌های با مقیاس بزرگ محاسبات نسبتاً زیاد احتمال گیر کردن در قله‌های محلی بنا بر ماهیت الگوریتم‌های ژنتیک کوانتوم ساده چندگانه نبودن	توانایی تغییر مقدار یک کروموزوم و ایجاد تنوع بیشتر در فضای مسئله قابلیت استفاده در شبکه‌های با جمعیت پویا	QG-QoS
پیاده‌سازی سنگین و نیاز به تعریف پارامترهای زیاد	استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه بدون تبدیل در نظر گرفتن تضمین پهنای باند علاوه بر تأخیر	QuEst

۴-۱ نتیجه‌گیری

شبکه‌های حسگر بی‌سیم امروزه یکی از موضوعات جدید و پرکاربرد در پردازش اطلاعات مکان‌های غیرقابل دسترس است. با توجه به رشد روزافزون استفاده از این شبکه‌ها و کاربردهای بسیار آن‌ها، کیفیت خدماتی که این شبکه‌ها ارائه می‌دهند نیز بسیار مهم است. همان‌گونه در این پایان‌نامه به آن اشاره شد نیازمندی‌ها و محدودیت‌های کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سایر شبکه‌های بی‌سیم متفاوت است و حتی

نیازمندی‌های کیفیت خدمات در سطوح مختلف شبکه در شبکه‌های بی‌سیم نیز متفاوت است. ما در این پایان‌نامه با انجام شبیه‌سازی تأثیر الگوریتم پیشنهادی را بر بهبود نیازمندی‌های کیفیت خدمات در سطح شبکه، به‌وسیله طراحی الگوریتم مسیریابی نمایش دادیم.

۲-۴ پیشنهادها

الگوریتم مسیریابی که در این پایان‌نامه ارائه دادیم دو تا از پارامترهای کیفیت خدمات را بهبود داد اما همان‌طور که در فصل اول اشاره کردیم می‌توان چندین نیازمندی کیفیت خدمات را در سطح شبکه نام برد بنابراین می‌توان نیازمندی‌های بیشتر را نیز به همراه این دو بررسی کرد

در شبکه حسگر ممکن است پس از رخ دادن یک رویداد نیازمندی کاربر در هر سطح از شبکه تغییر کند و چون نیازمندی‌ها در سطوح شبکه باهم مرتبط هستند ممکن است نیازمندی کاربر در سطح شبکه نیز تغییر کند بنابراین الگوریتم‌های مسیریابی پویا که قابلیت دنبال کردن تغییرات نیازمندی کیفیت خدمات را داشته باشند نیاز بعدی در این عرصه خواهد بود

می‌توان از الگوریتم‌های هوشمند در مسیریابی برای طراحی روش‌های مسیریابی بین لایه‌ای، سود جست.

- [1] C. Buratti, M. Martalo, G. Ferrari, and R. Verdone, *Sensor Networks with IEEE 802.15. 4 Systems*: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [3] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer networks*, vol. 52, pp. 2292-2330, 2008.
- [4] A. Boukerche, M. Z. Ahmad, B. Turgut, and D. Turgut, "A taxonomy of routing protocols in sensor networks," *Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks*, pp. 129-160, 2008.
- [5] H. Karl and A. Willig, *Protocols and architectures for wireless sensor networks*: John Wiley & Sons, 2007.
- [6] M. Chen, C.-F. Lai, and H. Wang, "Mobile multimedia sensor networks: architecture and routing," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2011, pp. 1-9, 2011.
- [7] B. Nazir and H. Hasbullah, "Energy efficient and QoS aware routing protocol for clustered wireless sensor network," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 39, pp. 2425-2441, 2013.
- [8] D. Chen and P. K. Varshney, "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey," in *International conference on wireless networks*, 2004, pp. 1-7.
- [9] A. Ganz, Z. Ganz, and K. Wongthavarawat, *Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards and QoS*: Pearson Education, 2003.
- [10] K. Akkaya and M. Younis, "An energy-aware QoS routing protocol for wireless sensor networks," in *Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings. 23rd International Conference on*, 2003, pp. 710-715.
- [11] W. Su, "Enabling Quality-of-Service Applications in Sensor Networks," Georgia Institute of Technology, 2004.
- [12] M. Perillo and W. B. Heinzelman, "Providing application QoS through intelligent sensor management," in *Sensor Network Protocols and Applications, 2003. Proceedings of the First IEEE. 2003 IEEE International Workshop on*, 2003, pp. 93-101.
- [13] B. Deb, S. Bhatnagar, and B. Nath, "Information assurance in sensor networks," in *Proceedings of the 2nd ACM international conference on Wireless sensor networks and applications*, 2003, pp. 160-168.
- [14] Y. Sankarasubramaniam, Ö. B. Akan, and I. F. Akyildiz, "ESRT: event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, 2003, pp. 177-188.
- [15] R. Iyer and L. Kleinrock, "QoS control for sensor networks," in *Communications, 2003. ICC'03. IEEE International Conference on*, 2003, pp. 517-521.
- [16] J. Frolik, "QoS control for random access wireless sensor networks," in *Wireless*

- Communications and Networking Conference, 2004. WCNC. 2004 IEEE*, 2004, pp. 1522-1527.
- [١٧] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, G. Qu, and M. Potkonjak, "Exposure in wireless ad-hoc sensor networks," in *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2001, pp. 139-150.
- [١٨] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE communications magazine*, vol. 40, pp. 102-114, 2002.
- [١٩] N. N. Datta and K. Gopinath, "A survey of routing algorithms for wireless sensor networks," *Journal of the Indian Institute of Science*, vol. 86, p. 569, 2013.
- [٢٠] S. K. Singh, M. Singh, and D. Singh, "A survey of energy-efficient hierarchical cluster-based routing in wireless sensor networks," *International Journal of Advanced Networking and Application (IJANA)*, vol. 2, pp. 570-580, 2010.
- [٢١] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE wireless communications*, vol. 11, pp. 6-28, 2004.
- [٢٢] J. Kulik, W. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks," *Wireless networks*, vol. 8, pp. 169-185, 2002.
- [٢٣] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, 1999, pp. 174-185.
- [٢٤] J.-H. Chang and L. Tassiulas, "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol. 12, pp. 609-619, 2004.
- [٢٥] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor routing algorithm for sensor networks," in *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, 2002, pp. 22-31.
- [٢٦] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G. J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," *IEEE personal communications*, vol. 3, pp. 16-27, 2000.
- [٢٧] A. Forster, "Machine learning techniques applied to wireless ad-hoc networks: Guide and survey," in *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information, 2007. ISSNIP 2007. 3rd International Conference on*, 2007, pp. 365-370.
- [٢٨] J. A. Boyan and M. L. Littman, "Packet routing in dynamically changing networks: A reinforcement learning approach," *Advances in neural information processing systems*, pp. 671-671, 1994.
- [٢٩] M. Deville, Y. Borgne, and A. Nowé, "Reinforcement learning for energy efficient routing in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 23rd Benelux Conference on Artificial Intelligence*, 2011, pp. 89-96.
- [٣٠] M. Mihaylov, K. Tuyls, and A. Nowé, "Decentralized learning in wireless sensor networks," in *International Workshop on Adaptive and Learning Agents*, 2009, pp. 60-73.
- [٣١] A. Forster and A. L. Murphy, "FROMS: Feedback routing for optimizing

- multiple sinks in WSN with reinforcement learning," in *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information, 2007. ISSNIP 2007. 3rd International Conference on*, 2007, pp. 371-376.
- [۳۲] A. Egorova-Förster and A. L. Murphy, "A feedback-enhanced learning approach for routing in WSN," in *Communication in Distributed Systems (KiVS), 2007 ITG-GI Conference*, 2007, pp. 1-12.
- [۳۳] P. Wang and T. Wang, "Adaptive routing for sensor networks using reinforcement learning," in *The Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT'06)*, 2006, pp. 219-219.
- [۳۴] Y. Zhang and Q. Huang, "A learning-based adaptive routing tree for wireless sensor networks," *Journal of Communications*, vol. 1, pp. 12-21, 2006.
- [۳۵] T. Hu and Y. Fei, "QELAR: a machine-learning-based adaptive routing protocol for energy-efficient and lifetime-extended underwater sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, pp. 796-809, 2010.
- [۳۶] S. Okdem and D. Karaboga, "Routing in wireless sensor networks using an ant colony optimization (ACO) router chip," *Sensors*, vol. 9, pp. 909-921, 2009.
- [۳۷] M. Saleem, G. A. Di Caro, and M. Farooq, "Swarm intelligence based routing protocol for wireless sensor networks: Survey and future directions," *Information Sciences*, vol. 181, pp. 4597-4624, 2011.
- [۳۸] A. M. Zungeru, L.-M. Ang, and K. P. Seng, "Performance evaluation of ant-based routing protocols for wireless sensor networks," *arXiv preprint arXiv:1206.5938*, 2012.
- [۳۹] S. Sarangi and B. Thankchan, "A novel routing algorithm for wireless sensor network using particle swarm optimization," *Int. J. Res. Eng. Inf. Soc. Sci*, vol. 4, pp.26-30,2012.
- [۴۰] K. Li, C. E. Torres, K. Thomas, L. F. Rossi, and C.-C. Shen, "Slime mold inspired routing protocols for wireless sensor networks," *Swarm Intelligence*, vol. 5, pp. 183-223, 2011.
- [۴۱] Y. Zhang, L. D. Kuhn, and M. P. Fromherz, "Improvements on ant routing for sensor networks," in *International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, 2004, pp. 154-165.
- [۴۲] T. Camilo, C. Carreto, J. S. Silva, and F. Boavida, "An energy-efficient ant-based routing algorithm for wireless sensor networks," in *International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, 2006, pp. 49-59.
- [۴۳] M. R. Minhas, S. Gopalakrishnan, and V. C. Leung, "Fuzzy algorithms for maximum lifetime routing in wireless sensor networks," in *IEEE GLOBECOM 2008-2008 IEEE Global Telecommunications Conference*, 2008, pp. 1-6.
- [۴۴] T. Haider and M. Yusuf, "A fuzzy approach to energy optimized routing for wireless sensor networks," *Int. Arab J. Inf. Technol.*, vol. 6, pp. 179-185, 2009.
- [۴۵] H. Taheri, P. Neamatollahi, O. M. Younis, S. Naghibzadeh, and M. H. Yaghmaee, "An energy-aware distributed clustering protocol in wireless sensor networks using fuzzy logic," *Ad Hoc Networks*, vol. 10, pp. 1469-1481, 2012.
- [۴۶] G. Ran, H. Zhang, and S. Gong, "Improving on LEACH protocol of wireless sensor networks using fuzzy logic," *Journal of Information & Computational*

- Science*, vol. 7, pp. 767-775, 2010.
- [٤٧] J. Barbancho, C. Leon, J. Molina, and A. Barbancho, "Giving neurons to sensors. QoS management in wireless sensors networks," in *2006 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 2006, pp. 594-597.
 - [٤٨] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, "A taxonomy of wireless micro-sensor network models," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 6, pp. 28-36, 2002.
 - [٤٩] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *System sciences, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on*, 2000, p. 10 pp. vol. 2.
 - [٥٠] W. B. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks," Massachusetts Institute of Technology, 2000.
 - [٥١] M. Younis, M. Youssef, and K. Arisha, "Energy-aware routing in cluster-based sensor networks," in *Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems, 2002. MASCOTS 2002. Proceedings. 10th IEEE International Symposium on*, 2002, pp. 129-136.
 - [٥٢] L. Subramanian and R. H. Katz, "An architecture for building self-configurable systems," in *Mobile and Ad Hoc Networking and Computing, 2000. MobiHOC. 2000 First Annual Workshop on*, 2000, pp. 63-73.
 - [٥٣] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, "Modelling data-centric routing in wireless sensor networks ",in *IEEE infocom*, 2002, pp. 39-44.
 - [٥٤] O. Islam and S. Hussain, "An intelligent multi-hop routing for wireless sensor networks," in *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology Workshops, 2006. WI-IAT 2006 Workshops. 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on*, 2006, pp. 239-242.
 - [٥٥] S. Hussain, A. W. Matin, and O. Islam, "Genetic algorithm for hierarchical wireless sensor networks," *Journal of Networks*, vol. 2, pp. 87-97, 2007.
 - [٥٦] M. Qate and M. Pourabdian, "Application of Genetic Algorithm in Numerical Solution of Two-dimensional Laplace's Equation".
 - [٥٧] V. K. Singh and V. Sharma, "Elitist genetic algorithm based energy efficient routing scheme for wireless sensor networks," *International Journal of Advanced Smart Sensor Network Systems*, vol. 2, pp. 15-21, 2012.
 - [٥٨] M.-A. Koulali, A. Kobbane, M. El Koutbi, and M. Azizi, "QDGRP: A hybrid QoS Distributed Genetic routing protocol for Wireless Sensor Networks," in *Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 2012 International Conference on*, 2012 ,pp. 47-52.
 - [٥٩] M. Dorigo and C. Blum, "Ant colony optimization theory: A survey," *Theoretical computer science*, vol. 344, pp. 243-278, 2005.
 - [٦٠] A. Pourkabirian and A. T. Haghghat, "Energy-aware, delay-constrained routing in wireless sensor networks through genetic algorithm," in *Software, Telecommunications and Computer Networks, 2007. SoftCOM 2007. 15th International Conference on*, 2007, pp. 1-5.

- [٦١] W. Luo, "A quantum genetic algorithm based QoS routing protocol for wireless sensor networks," in *IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences*, 2010, pp. 37-40.
- [٦٢] N. Saxena, A. Roy, and J. Shin, "QuEST: a QoS-based energy efficient sensor routing protocol," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 9, pp. 426-417, 2009.
- [٦٣] Y. M. H. S. Y. Tseng, and C. C. Lin, "Genetic algorithm for delay- and degree-constrained multimedia broadcasting on overlay networks," *Computer Commun*, vol. 29, pp. 3625–3632, 2006.
- [٦٤] C. P. R. a. R. Bajpai, "Source-based delay-bounded multicasting in multimedia networks," *Computer Commun*, vol. 21, pp. 126–132, Mar 1998.

Abstract

Technology progress in the field of wireless communications technology, electronics and energy-saving design, and also tend to use low-priced products with high performance, leading to the creation of one of the most widely used network as the wireless sensor network. According to one of the main objectives of these network to collect and send information to the main node about the environment, the most important issue here is the quick and accurate delivery of data packets with the lowest energy consumption and as well as an increase in applications of this network in human life, the quality of service that these networks offer are very important.

In this study, after the introduction of wireless sensor networks and their applications, the definition of quality of service in these networks will be illustrated. Then by discussing the future restrictions, we express the most important routing algorithms in wireless sensor networks due to the provision of service quality standards. After that, we introduce a routing algorithm based on genetic algorithm, and the results of the proposed algorithm with the comparison to one of the new existing algorithms further verify improvement in the quality of service. It's necessary to consider all layers of the network to improve the quality of service in wireless sensor networks. But in this thesis, we concentrate on network layer, and we have tried to select the appropriate routing algorithms to provide and increase the necessary requirements of the quality of the services such as packet delay and power consumption nodes, according to the inherent limitations of wireless sensor networks.

Keyword:

wireless sensor networks, quality of service, routing algorithm



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering
MSc Thesis in Electrical Engineering

Comparison of WSN routing algorithms from QoS viewpoint

By: Maryam Sadeghi

Supervisor:

Dr (Omid Reza Marouzi)

September2016