

الگوریتم مسیریابی مبتنی بر بهینه سازی کلنی مورچه برای افزایش

طول عمر شبکه در شبکه های حسگر بی سیم

چکیده

کاهش مصرف انرژی گره های شبکه یکی از مهمترین مشکلات بمنظور مسیر یابی در شبکه های حسگر بی سیم بدلیل محدودیت باطری در هر حسگر بشمار می رود. این مقاله یک الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر بهینه سازی جدید کلنی مورچه که از پارامترهای ویژه ای در تابع صلاحیت بمنظور کاهش مصرف انرژی گره های شبکه استفاده می کند. در این الگوریتم پیشنهادی جدید بنام الگوریتم مسیر یابی آگاه طولانی مدت برای شبکه های حسگر بی سیم (LTAWSN)، اپراتور بروز فرمون بمنظور یکپارچه کردن مصرف انرژی و پرش ها در انتخاب مسیر یابی طراحی گردید. با نتایج شبیه سازی چند گانه توانستیم LTAWSN را نشان دهیم، در مقایسه با الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر بهینه سازی جدید کلنی مورچه پیشین، الگوریتم مسیر یابی کلنی مورچه آگاه از انرژی برای مسیر یابی شبکه های حسگر بی سیم، الگوریتم مسیر یابی آگاه از مکان و مبتنی بر بهینه سازی کلنی مورچه برای شبکه های حسگر بی سیم و الگوریتم کلنی مورچه سنتی و افزایش کارایی سیستم انتقال متعادل تر در میان گره ها بدست آورده و مصرف انرژی مسیر یابی را کاهش داده و طول عمر شبکه را افزایش می دهد.

کلمات کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم، الگوریتم های مسیر یابی، بهینه سازی کلنی مورچه، مصرف انرژی،

طول عمر شبکه

1. مقدمه

یک شبکه حسگر بی سیم (WSN) متشکل از ده ها، صدها و هزاران گره های کوچک مرتبط می باشد که هر کدام مجهز به یک دستگاه سنجش می باشد. اکثر شبکه های حسگر از ارتباطات بی سیم استفاده می کنند، و گره ها با باتری کار می کنند. منابع محدود آنها، قابلیت های ارتباطی محدود و مصرف برق محدود ملزم می کند که در لیست معیارهای طراحی کارایی باید بالا باشد. در نتیجه پیشرفت در ارتباطات بیسیم و فن آوری های الکترونیکی، حسگر های بیسیم در حال کوچکتر، ارزانتر و قدرتمند تر شدن هستند. بدلیل گسترش سریع ریز پردازنده ها، حسگر و فرستنده و گیرنده، برنامه های کاربردی پیش زمینه بسیار عالی در مورد WSNs وجود دارد. از آنجاییکه از این شبکه ها در محیط های دشوار و غیر قابل دسترس مانند میدان های جنگ، آتشفشان ها، جنگل ها و غیره استفاده می کنیم، احتمال ضعفی در تغییر یا شارژ مجدد گره های ناقص یا از کار افتاده وجود دارد. از اینرو، تفاوت اصلی بین WSNs و دیگر شبکه های بیسیم کلاسیک اینست که WSNs دارای حساسیت فوق العاده و آسیب پذیر به انرژی هستند [2].

انرژی محدود مسئله اصلی تاثیر گزار بر عملکرد WSNs می باشد. بنابراین، چگونگی استفاده از انرژی محدود WSNs جهت افزایش حد اکثری طول عمر WSNs مشکل اصلی طراحی مسیر یابی بحساب می آید [3]. اکثر الگوریتم های مسیر یابی برای شبکه های حسگر نیازمند اطلاعات مکان برای گره های حسگر هستند. در بیشتر موارد، اطلاعات مکان بمنظور محاسبه فاصله بین دو گره ویژه مورد نیاز بوده تا بتوان مصرف انرژی را ارزیابی کرد. بنابراین اطلاعات مکان را می توان در داده های مسیر یابی بصورت انرژی کارآمد مورد استفاده قرار داد.

خانواده الگوریتم بهینه سازی کلنی مورچه (ACO) جهت حل برخی مشکلات مسیر یابی در WSN بطور موفقیت آمیزی بکار رفته است [5]. در دو دهه اخیر، بهینه سازی کلنی مورچه به عنوان متد اکتشافی پیشرو متا برای حل مشکلات بهینه سازی ترکیبی پدیدار گردید [4].

در این مقاله یک الگوریتم مسیر یابی برای شبکه های حسگر بیسیم بر اساس بهینه سازی کلنی مورچه با پارامترهای خاص ارائه دادیم. هدف اصلی الگوریتم افزایش حد اکثری طول عمر شبکه بوسیله تعریف هزینه لینک به عنوان تابع انرژی باقیمانده گره و انرژی انتقال مورد نیاز با استفاده از آن لینک می باشد. الگوریتم پیشنهادی را به عنوان الگوریتم مسیر یابی آگاه از طول عمر برای شبکه های حسگر بیسیم (LTAWSN) می نامیم و آنرا با

انرژی الگوریتم مسیر یابی کلنی مورچه آگاه از انرژی برای مسیر یابی شبکه های حسگر بیسیم (EAACA) ارائه شده در قسمت 6، الگوریتم مسیر یابی آگاه از مکان مبتنی بر بهینه سازی کلنی مورچه برای شبکه های حسگر بیسیم (ACLR) ارائه شده در 5 و 7 و الگوریتم مسیر یابی کلنی مورچه سنتی ACA مقایسه می کنیم و مشاهده میشود که الگوریتم پیشنهادی مصرف انرژی در مقایسه با این الگوریتم های مسیر یابی را کاهش دهد و انتقال متعادل تری در میان گره بدست آمده و طول عمر شبکه را افزایش می دهد.

مابقی این مقاله بصورت زیر طبقه بندی شده است. در بخش 2، برخی از تحقیقات پیشین در مورد الگوریتم های مسیر یابی کلنی مورچه در شبکه های حسگر بیسیم ارائه شده است. در بخش 3 رویکرد پیشنهادی توضیح داده شده است. بخش 3 پارامترهای شبیه سازی را نشان می دهد. بخش 4 در مورد نتایج شبیه سازی بحث کرده و بخش 5 نتیجه گیری در مورد مقاله می باشد.

2. کارهای مرتبط

برخی از تحقیقات اخیر در مورد الگوریتم های مسیر یابی کلنی مورچه شبکه های حسگر بیسیم بصورت زیر ارائه شده است:

مولفان در بخش 5 یک الگوریتم مسیر یابی برای شبکه های حسگر بیسیم با استفاده از بهینه سازی کلنی مورچه ارائه داده که مقایسه دو الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر کلنی مورچه با توجه به مقادیر مصرفی انرژی تحت سناریوهای مختلف و گزارش معیارهای معمول برای مسیر یابی در شبکه های حسگر بیسیم را نشان می دهد.

در قسمت 6 مولفان یک الگوریتم کلنی مورچه انرژی-آگاه برای مسیر یابی در شبکه های حسگر بیسیم ارائه دادند زمانیکه مورچه گره بعدی را انتخاب می کند، نه تنها فاصله گره حفره و مسیر انرژی میانگین در نظر گرفته می شوند. این الگوریتم با الگوریتم ACA سنتی مقایسه شده و در مصرف انرژی گره ها دارای بهبود در تعادل می گردد و طول عمر شبکه را افزایش می دهد.

در بخش 8 مولفان مقایسه عادلانه ای از سلسله مراتب خوشه تطبیقی انرژی کم (LEACH) و کلنی مورچه بکار رفته در LEACH بر اساس مرگ اولین گره در شبکه های حسگر بیسیم را ارائه داده و نشان داده شده زمانیکه الگوریتم کلنی مورچه در مورد پروتکل LEACH موجود بکار میرود، طول عمر شبکه بهبود یافته است.

در بخش 9 ابتدا یک جدول طبقه بندی ساخت شده و اشاره به ایجاد چندین فرمان مسیر یابی ممکن دارد. سپس ACO این مسیرها را کشف کرده تا مصرف توان گره ها را کاهش دهد.

در بخش 10 هر گره مقدار انرژی را محاسبه کرده و سطح انرژی شبکه باقیمانده را رویهمرفته بیان میکند. به کمک این مقایسه، گره تصمیم می گیرد که سر خوشه باشد یا خیر. احتمال سر خوشه شدن گره هایی با انرژی بالا بیشتر می باشد. عیب این رویکرد اینست که نیازمند ارتباط اضافه گره ها با ایستگاه پایه بوده و نیازمند انرژی بیشتر می باشد.

در بخش 11 مولفان الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر مورچه کارآمد (EEABR) را برای معماری های آگاه از مکان و زمین مسطح ارائه دادند. در این طرح پیشنهادی مورچه ها بدنبال مصرف انرژی کمتر ضمن کاهش اندازه مورچه ها در طول ارتباط بین گره ها هستند.

در بخش 7 مولفان الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر بهینه سازی و آگاه از مکان کلنی مورچه (ACLR) را پیشنهاد دادند که یک الگوریتم آگاه از مکان مسطح می باشد. او انرژی باقیمانده، اطلاعات گره های مکان محلی و سراسری را بمنظور انتخاب گره بعدی برای مورچه ها تعریف می کند.

در بخش 12 مولفان الگوریتم بهینه سازی کلنی مورچه را نشان داده و آن را در کنترل انرژی و ازدحام در مسیر شبکه حسگر بیسیم بکار می برند. در این الگوریتم فرمون و انرژی گره بمنظور تاثیر بر سهمیه رضایت فرمون در مسیر بهینه سازی ترکیب می شوند که این امر از ازدحام شبکه و مصرف سریع انرژی گره منحصر بفرد جلوگیری می کند. بنابراین چرخه طول عمر شبکه طولانی تر می شود.

در بخش 13 مولفان الگوریتم مسیر حالت پیش بینی را بر اساس ACO جهت دستیابی به ساختار مسیر یابی جمع آوری داده های انرژی-آگاه در شبکه های حسگر بیسیم پیشنهاد می دهند. این الگوریتم ضریب بارگیری در عامل اکتشافی بررسی کرده و یک فرمون جدید ارائه می دهد. در این الگوریتم مورچه های مصنوعی وضعیت انرژی شبکه ها را پیش بینی کرده و اقدامات مربوطه جهت افزایش کارایی انرژی در ساخت مسیر را بکار میبرند.

در بخش 14 مولفان یک الگوریتم مسیر یابی مقرون به صرفه برای شبکه های حسگر بیسیم متشکل از فازهای مسیر یابی و دسته بندی ارائه دادند. نتایج شبیه سازی نشان دادند که این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم های

دیگر طول عمر شبکه را افزایش داده و مصرف انرژی را کاهش می دهد. بهر حال در این مقاله سناریوی پویا و جنبه های ترانس نقص شبکه حسگر توسط مولفان مورد توجه قرار نگرفته است.

الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر بهینه سازی ازدحام یک ذره که طول عمر شبکه های حسگر بیسیم را به حد اکثر میرساند در بخش 15 نشان داده شده است. ایده اصلی این رویکرد به حداقل رسانده مصرف انرژی مسیر دریچه نزدیک به ایستگاه پایگاه و توزیع بار مسیر یابی در آنها می باشد. رویکرد پیشنهادی با دو الگوریتم دیگر بر اساس گره های حسگر از کار افتاده، انحراف معیار انرژی باقیمانده سر کلاسترها و بسته های داده دریافتی بوسیله ایستگاه پایه مقایسه می گردد.

رویکرد مبتنی بر کلاستر برای توسعه طول عمر شبکه در قسمت 16 ارائه شده است. در این مقاله معیار هزینه اهمیت پوشش جدید CI برای مشکلات کاربردی پوشش ارائه شده است. نتایج شبیه سازی نشان داده که این رویکرد در مقایسه با پروتکل های پیشین می تواند توپولوژی شبکه بسته بندی منطقی را با مصرف انرژی کمتر و عملکرد پوششی بهتر که طول عمر شبکه را افزایش داده ایجاد کند.

مولفان در مقاله شماره 17 یک متد را بر اساس الگوریتم ژنتیکی هایبرید پیشنهاد داده و قصد ایجاد تعداد حداکثر ارتباطات با تعداد حداقل کانال های همزمان را دارند. مولفان در مقاله شماره 18 فهرست کاملی از تهدیدات امنیتی شناخته شده اصلی درون چارچوب شبکه رادیویی شناختی (CRN) را ارائه می دهند.

مولفان در بخش 19 یک بررسی از تکنیک های کنترل توپولوژی فراهم می کند. در روش کار آنها، تکنیک های کنترل توپولوژی موجود به دو گروه تقسیم می شوند: پوشش و اتصال شبکه. امکان استخراج کانال های نسبتاً مشترک (POCs) بازی جدید نظری الگوریتم CA توزیع شده در مقاله شماره 17 کشف شده است. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله از رویکرد کانال متعامد معمولی و الگوریتم های CA اکتشافی با استفاده از POC عملکرد بهتری دارد.

طرح اختصاص کانال جدید QoE محور برای SUS و ایستگاه پایه شبکه های رادیویی شناختی (CRN) در مقاله 21 ارائه شده است. در این مقاله، داده های QoE تاریخی تحت کانال های اولیه مختلف (PCs) توسط SUS اختصاص یافته و به ایستگاه پایه رادیویی شناختی (CRBS) میرسد. مولفان در مقاله 22 بررسی را ارائه داده که پاسخ به سه سوال کلیدی زیر را نشان می دهند: 1- مشکلات طراحی الگوریتم برای DC-WSNs چه چیزهایی

هستند؟ 2- چه مشکلاتی مورد بررسی قرار گرفته و کدام یک بررسی نشده اند؟ 3- تکنیک هایی ضروری برای راه حل های موجود چه چیزهایی هستند؟

مولفان در مقاله 23 معیار مسیر یابی مدرن برای شبکه های رادیویی شناختی را مورد بررسی قرار می دهند. آنها ابتدا چالشهایی را که باید در طراحی یک معیار مسیر یابی مناسب برای شبکه های رادیویی شناختی بکار رفته توجه نمایند. مولفان در مقاله 24 محدودیت های عملکرد اولیه پروتکل های کنترل دستیابی متوسط (MAC) برای شبکه های حسگر بیسیم چند-هاپ و مبتنی بر RF و شبکه های حسگر در عمق آب را بررسی می کنند. برای مقابله با این حمله در پروتکل های متن رمز شده مولفان در مقاله 25 یک سیستم آشکار ساز مبتنی بر ناهنجاری با استفاده از بیرمنگام های ناظر توزیع شده (MSS) ارائه می دهند. پاراگراف پیشنهادی بر آشکار سازی متمرکز شده و بدنبال سطح MS می باشد. طرح جمع آوری داده های جامع برای شبکه های حسگر بیسیم در قسمت 26 ارائه گردیده است. مولفان مدل داده های تحلیل رفته قانون بوسیله داده های واقعی تایید شده و یک الگوریتم برآورد مبتنی بر طرح ریزی برای این مدل داده ارائه می دهد. یک الگوریتم بهینه سازی چند منظوره (MO) آنلاین جهت برنامه ریزی کارآمد گره های شبکه حسگر بیسیم و دستیابی به حداکثر طول عمر در بخش 27 ارائه شده است.

مولفان در بخش 28 MAPCloud را به عنوان معماری ابر لایه هیبریدی متشکل از ابرهای محلی و عمومی ارائه می دهند. آنها همچنین عملکرد و مقیاس پذیری کاربردهای موبایل را نشان می دهند. مولفان در بخش 29 استفاده از رویکرد هوش محاسباتی برای الگوریتم تقویت یادگیری (RLA) در روش های انتقال غیر همزمان (ATM) مبتنی بر شبکه در استاندارد رابط شبکه-به-شبکه خصوصی ارائه می دهند. مدل محاسباتی سلولی در سفالوم لجن در بخش 30 بمنظور حل مشکل درخت اشتاینر ارائه شده که به عنوان یک مشکل سخت NP در کاربردهای مختلف بویژه طراحی شبکه بحساب می آید.

مولفان در بخش 31 معتقدند که در نظر گرفتن قابلیت استفاده مجدد فضائی رسانه های ارتباطی بیسیم بطور قابل توجهی می تواند خروجی پیوسته در شبکه های بیسیم چند هاپ را بهبود بخشد. مولفان در بخش 32 بررسی شبکه های ناحیه بدن و انواع ارتباطات BAN و مسائل مربوط به آن را نشان میدهد. آنها همچنین یک بررسی

جزئی از دستگاه های حسگر، لایه فیزیکی و لایه پیوند داده های جنبه های تکنولوژی رادیو تحقیق BAN فراهم می کنند.

مولفان در بخش 33 ویژگی های اعتماد و اهداف مدیریت اعتماد IoT را بررسی کرده و تحقیقی در مورد پیشرفت های اخیر نسبت به IoT فراهم می کنند. یک رویکرد جدید در طراحی الگوریتم تقویت یادگیری متخصصان مدل S در بخش 34 نشان داده شده است. مولفان در بخش 35 یک مسیر یابی مستقیم و طرح برنامه ریزی (DRSS) وسیله نقلیه سبز DTNs با استفاده از رویکرد یادگیری سریع Nash ارائه می دهند که با توجه به ازدحام، بافر و تاخیر میتوان بهره وری انرژی را بهینه کرد.

مقاله 36 مشکلات امنیتی سه لایه IoT از جمله لایه درک، لایه انتقال و لایه کاربرد بطور جداگانه تجزیه و تحلیل می کند. مولفان در مقاله 37 به استراتژی تخصیص با حفظ توپولوژی بوسیله سازماندهی گره های مش با کانال های موجود توجه کرده و سعی در به حداقل رساندن تداخل همزمان کانال در شبکه دارند. پروتکل جمع آوری داده های مبتنی بر پیش بینی در مقاله 38 ارائه شده که در آن مکانیسم دو-صف بمنظور همگام سازی داده های پیش بینی گره حسگر و گره حفره طراحی شده است و خطای جمعی پیش بینی های مستمر کاهش میابد.

یک روش مسیر یابی چند پخشی محدود QoS با استفاده از الگوریتم ژنتیک و منابع موجود و حداقل زمان محاسبه در محیط دینامیک در مقاله 39 ارائه شده است. بررسی انجام شده در مقاله 40 طرح دسته بندی وسایل نقلیه را ارائه داده که دسته بندی سلسله مراتب را بر اساس الگوریتم مسیر یابی کلاسیک یکپارچه می سازد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که طراحی جدید مشکل موجود در WSN را کاهش داده و در طول عمر شبکه و تعادل بار در مقایسه با الگوریتم قدیمی که مستقیم، LEACH و DCHS می باشد، بهبود میابد. مولفان در مقاله 41 از مدل بیولوژیکی ماده چسبنده چند سر جهت طراحی الگوریتم بهینه سازی برگرفته از زیست برای MEP بهره می برند. پروتکل چند پخشی معتبر به اسم پایپ کد با صرفه جویی انرژی، خروجی بالا و تعادل در اتلاف شبکه های بیسیم در مقاله 42 ارائه شده است. ایده انتخاب مسیر چند هدفی در شبکه های تک کاره موبایل (MANET) تابع هزینه نامعلوم تکاملی جهت محاسبه هزینه توضیح داده شده در مقاله 43 میباشد. پروتکل چند پخشی معتبر به اسم پایپ کد با عملکرد پیشرفته از لحاظ مصرف انرژی، خروجی و تعادل در اتلاف شبکه های بیسیم در مقاله 44 به آن اشاره شده است. کارهای مربوط به مقاله 45 از این بینش سرچشمه می گیرد که تحقیق در مورد مسیر یابی

مشکلات وسیله نقلیه (OVR)، ناحیه فعال در عملیات تحقیق بر اساس فرضیات مشابه و محدودیت ها در مقایسه با شبکه های حسگر می باشد.

مقاله 46 به بررسی استانداردهای جاری و فعالیت های تحقیقاتی در اینترنت در زمینه صنعتی و پژوهشی می پردازد. مولفان در مقاله 47 کاربرد سنجش فشرده در جمع آوری داده ها در شبکه های حسگر بیسیم جهت کاهش مصرف انرژی شبکه از طریق مسیر یابی مشترک و تجمع فشرده را بررسی می کنند. مولفان در مقاله 45 یک اکتشاف متمرکز جهت کاهش سرریز محاسباتی و اکتشاف توزیع شده جهت ایجاد الگوریتم صعودی برای عملیات شبکه هایی با مقیاس بزرگ فراهم می کنند. آنها همچنین EDAL برای یکپارچه کردن با دریافت جامع توسعه می دهند، تکنیک در حال ظهور که قول کاهش در هزینه ترافیک کلی برای جمع آوری استنباط حسگرها تحت مرزهای تاخیر بی پایه می دهد.

تکنیک های متنوع در شبکه های موبایل سبز در مقاله 48 آمده است. مولفان اکثرا شبکه های سلولی موبایل را در مقالات خود هدف قرار داده اند. مولفان در مقاله 49 تکنیک های بهینه سازی لایه-ضربدر بهره برده که مسیر یابی منبع دینامیک جهت بهبود مصرف کافی انرژی مسیر یابی بوسیله کاهش فرکانس مسیرهای محاسبه شده را به حداقل می رساند. مولفان در مقاله 50 بازی های مسیر یابی در شبکه های عمومی را مورد بررسی قرار داده که در آن هر بازیگری مسیری را انتخاب کرده که میزان ازدحام و تاخیر مسیر بازیگر را به حداقل می رساند. در مقاله 51 متد تجمع داده های مرتبه ای بوسیله سنجش فشاری (HDACS) نشان داده شده که تنظیم شبکه سلسله مراتبی را با سنجش فشاری (CA) ترکیب می کند.

مولفان در مقاله 52 یک رویکرد سریع جدید بنام مسیر یابی فشار-از-پشت برای شبکه های مقاوم در برابر تاخیر (DTN) در نظر گرفته که در آن مسیر یابی تصمیمات پیش رو بر اساس هر بسته گرفته میشود. در آخر، مقاله 52 در مورد پروتکل ها و کاربرد شبکه های مقاوم در برابر تاخیر بحث می کند.

در مقایسه با کارهای ارائه شده در این ناحیه، متد پیشنهادی در این مقاله از دو پارامتر انرژی در تابع صلاحیت استفاده می کند. اولین تابع صلاحیت سطح انرژی باقیمانده گره های همسایه را در فرایند انتخاب هاپ بعدی میگیرد در حالیکه تابع دوم بر میزان انرژی مصرفی در هر گره همسایه تمرکز می کند. از آنجاییکه الگوریتم مبتنی بر بهینه سازی کلنی مورچه پیشنهادی توجه بیشتری به پارامترهای انرژی منجر افزایش طول عمر شبکه دارد.

3 الگوریتم مسیر یابی پیشنهادی مبتنی بر (LTAWSN) ACO

در این بخش قصد داریم ایده مربوط به الگوریتم LTAWSN را نشان دهیم. یک الگوریتم مبتنی بر بهینه سازی کلنی مورچه سنتی برای WSNs ارائه شده است. در مرحله بعد الگوریتم EAACA نشان داده می شود. در انتها الگوریتم مسیر یابی LTAWSN ارائه شده که سعی در بهبود انرژی و افزایش طول عمر شبکه دارد.

3.1 مسیر یابی مبتنی بر ACO اولیه برای WSNs (ACA)

شبکه های حسگر بیسیم WSN را میتوان به عنوان اتصال غیر مستقیم نمودار $G(V,E)$ نشان داد. V مجموعه ای از گره های حسگر و E مجموعه ای از روابط بین گره ها می باشد. هر گره در ناحیه WSN دارای همسایه ای می باشد که در پوشش ارتباط بیسیم گره قرار داده میشوند. از فاصله اقلیدسی جهت محاسبه فاصله بین دو گره در ناحیه WSN استفاده می کنیم. فاصله اقلیدسی بین i و j بدین صورت محاسبه می گردد:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (1)$$

where $i = (x_i, y_i), j = (x_j, y_j)$.

الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر مورچه از بسته های کنترل مورچه مانند جهت کشف مسیر های بین گره ها و بهینه سازی اطلاعات مسیر یابی استفاده می کند. مورچه ها بسته جستجو هستند که سعی در ایجاد تمام مسیر های مطمئن از گره منبع تا گره مقصد می باشد. الگوریتم فرض می کند که شبکه حسگر تنها یک مقصد حسگر داشته و از دو نوع مورچه استفاده می کند، یکی مورچه های رو به جلو که از گره منبع تا گره مقصد مسیر را طی کرده تا تا مسیرهای جدیدی کشف کند و اطلاعات را جمع آوری نماید، مورچه های رو به عقب که از مقصد به سمت منبع حرکت می کنند تا اطلاعات هر گره حسگر را هنگام حرکت بروز رسانی کند [5,6,12,13,54,55]. آنها این کار را با رها سازی فرمون جهت ایجاد مسیر انجام می دهند. مقادیر فرمون تعیین می کند که چگونه مورچه ها به گره منبع می رسند، و مرز یک گره مقصد از یک گره به گره بعدی در مسیر چند هاپ می رود. در هر رفت و آمد هر مورچه رو به جلو باید گره هاپ بعدی را از فهرست همسایه جهت ایجاد مسیر های خود انتخاب نماید. فهرست همسایه برای هر گره متشکل از گره هایی هستند که در پوشش ارتباطی بیسیم گره قرار گرفته است.

احتمال حرکت یک مورچه از هر گره جاری i به گره j در الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر ACO سنتی بوسیله [5, 7, 55] صورت داده شده است:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\psi_{ij}(t)]^\alpha \times [\varepsilon_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s_l \in C(s_i)} [\psi_{il}(t)]^\alpha \times [\varepsilon_{il}(t)]^\beta} \quad (2)$$

احتمال انتقال گره i به گره j برای k مورچه در زمان t می باشد، $\psi_{ij}(t)$ چگالی جمع شده فرمون در مسیر بخش i و j بوسیله مورچه ها می باشد، $\varepsilon_{ij}(t)$ اطلاعات جستجو برای بخش مسیر می باشد و α, β دو شارح ثابت مربوط به الگوریتم می باشد. تابع مکان $\varepsilon_{ij}(t)$ که بوسیله الگوریتم مسیر یابی سنتی نشان داده شده بدین صورت تعریف می شود:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (3)$$

d_{ij} فاصله اقلیدسی بین گره i و گره j می باشد. اگر مورچه گره مقصد را پیدا کند، یک مسیر بین گره منبع و گره مقصد ایجاد می گردد. سپس گره مقصد یک بسته پاسخ ایجاد می کند (مورچه رو به عقب). مورچه رو به عقب به گره فرستنده در طول مسیر معکوس مراجعه کرده و هنگام بازگشت فرمون را آزاد می کند. فرمون $\psi_{ij}(t)$ در پایان هر نقطه جستجو بروز رسانی می شود:

$$\psi_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \times \psi_{ij}(t) + \Delta\psi_{ij}(t). \quad (4)$$

ρ عامل تبخیر فرمون بوده، $\rho \in (0, 1)$ و $\Delta\psi_{ij}(t)$ افزایش فرمون در مسیر بین گره i و j در حرکت دایره ای می باشد، جمع فرمون آزاد شده بوسیله مورچه k در لینک بیسیم بین گره i و j بدین صورت می باشد:

$$\Delta\psi_{ij} = \sum_{k=1}^n \Delta\psi_{ij}^k \quad (5)$$

در الگوریتم سنتی اگر مورچه k را انتخاب کند، داریم:

$$\Delta\psi_{ij}^k = \frac{A}{L^k} \quad (6)$$

L^k طول مسیر ایجاد شده بوسیله مورچه k می باشد و A عدد ثابت است. این الگوریتم تا تعداد مشخصی برای تعداد معین مورچه تکرار می گردد. این حلقه تکرار میشود تا الگوریتم به تعداد معینی تکرار برای تعداد مشخصی مورچه دست یابد.

3.2 الگوریتم کلنی مورچه آگاه به انرژی برای مسیر یابی شبکه های حسگر بیسیم (EAACA)

در EAACA (6) احتمال انتقال بسته به هاپ همسایه، انرژی باقیمانده گره در نظر گرفته شده است. مورچه ها از یک گره منبع راه شروع به حرکت کرده و به سمت گره مقصد می روند و از یک گره به گره بعدی میپزند. مورچه k در گره i گره j بعدی را جهت حرکت بطرف آن انتخاب می کند، بر اساس قانون تصمیم احتمالی:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\psi_{ij}(t)]^\alpha \times [\mu_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s_l \in C(i)} [\psi_{il}(t)]^\alpha \times [\mu_{il}(t)]^\beta} \quad (7)$$

احتمال بسته انتقال و معیار فرمون بحساب می آیند. $\eta_{ij}(t)$ تابع انرژی پیشنهادی بوسیله

EAACA بوده و بصورت زیر تعریف می شود:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{E - e_j(t)} \quad (8)$$

E انرژی اولیه گره ها بوده و $e_j(t)$ انرژی واقعی گره j در زمان t می باشد. در EAACA فرمون $\psi_{ij}(t)$ در

انتهای هر نقطه جستجو بروز رسانی میشود [6]:

$$\psi_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \times \psi_{ij}(t) + \frac{\Delta\psi_{ij}(t)}{\omega.hopcount_k} \quad (9)$$

تعداد گره ها را که مورچه k آنها را در شبکه از گره منبع تا مقصد نشان میدهد که معادل L^k hop_{count_k} در الگوریتم سنتی بوده و ω یک مقدار ثابت می باشد.

EAACA نه تنها فاصله مسیر را در نظر میگیرد بلکه سطح انرژی مسیر را در نظر میگیرد، بنابراین غلظت فرمون بهبود میابد:

$$\Delta\psi_{ij} = c \times (hop_{max} - hop_{count_k}) \times E_{avg_k} \cdot (10)$$

در حالی که hop_{max} حداکثر تعداد مجاز هاپ برای مورچه را در شبکه نشان میدهد hop_{count_k} تعداد هاپ برای مورچه k در شبکه گره منبع تا گره مقصد را نشان میدهد (تعداد گره های مشاهده شده توسط مورچه k)، C مقدار ثابت بوده و E_{avg_k} انرژی میانگین گره ها است که مورچه k آنها را مشاهده می کند. در الگوریتم EAACA فرض شده که غلظت فرمون را نمی توان به مقدار صفر یا منفی کاهش داد و فرمون از مقدار پیش فرض کمتر نمی شود [6]. در طول فرایند پیدا کردن مسیر به گره مقصد، مقدار پیش فرض فرمون تضمین می کند که هر گره ای می تواند گره بعدی باشد.

3.3 الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر بهینه سازی کلنی یک مورچه (LTAWSN)

در این بخش یک الگوریتم مسیر یابی مبتنی بر کلنی مورچه با پارامترهای خاص در تابع صلاحیت ارائه می دهیم که سعی در کاهش مصرف انرژی گره های شبکه و بدست آوردن انتقال متعادل تر در میان گره و افزایش طول عمر شبکه دارد. مصرف کم انرژی و عمر طولانی اساسی ترین شرایط برای عملکرد مناسب WSNs بشمار می روند. بنابراین استفاده از فاکتور مصرف انرژی در طراحی مسیر یابی ضروری می باشد.

در این طرح قصد داریم سیستمی ایجاد کنیم که تضمین سازد اتلاف انرژی کلی در میان گره های شبکه بطور مساوی تقسیم گردد. بمنظور بهینه سازی کیفیت مسیر یابی و مصرف انرژی، دستیابی به رابطه جایگزینی بین پرش های مسیر و مصرف انرژی لازم می باشد.

در الگوریتم LTAWSN فهرست کاندید همسایه برای هر گره از گره هایی تشکیل شده که در پوشش ارتباطی گره قرار گرفته است و در مقایسه با گره جاری به گره مقصد نزدیک تر است.

از آنجاییکه معیار انرژی یکی از پارامترهای مهم در تابع صلاحیت می باشد، از دو معیار انرژی در این تابع استفاده می کنیم که هر کدام از آنها تعریف مخصوص به خود را دارد. از طرفی دیگر، بر اساس این واقعیت گره نزدیک تر به گره مقصد در فهرست همسایه برای هر گره جاری با احتمال بالا می تواند به می تواند به گره مقصد با تعداد پرش های کمتر دست یافته و یک پارامتر فضایی در تابع احتمال الگوریتم LTAWSN در نظر می گیریم. این پارامتر فاصله گره های فهرست را در گره مقصد در نظر گرفته و به احتمال زیاد انتخاب می گردد. تابع احتمال الگوریتم LTAWSN برای انتخاب گره پرش بعدی در مسیر جاری در این قانون تصمیم احتمالی بکار رفته است:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\psi_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}(t)]^\beta \times [\eta'_{ij}(t)]^\gamma \times [\varepsilon_{ij}(t)]^\delta}{\sum_{s_l \in C(i)} [\psi_{il}(t)]^\alpha \times [\eta_{il}(t)]^\beta \times [\eta'_{il}(t)]^\beta \times [\varepsilon_{il}(t)]^\delta} \quad (11)$$

$P_{ij}^k(t)$, $\psi_{ij}(t)$ احتمال بسته انتقال و معیار فرمون بوده، $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ پارامترهای کنترل و $\eta_{ij}(t)$

اولین معیار انرژی می باشد که بصورت زیر تعریف شده است:

$$\eta_{ij}(t) = \frac{e_j(t)}{\sum_{s_l \in C(i)} e_l(t)} \quad (12)$$

این معادل باعث می گردد تا گره با سطح انرژی بالاتر در فهرست احتمال بالایی برای انتخاب شدن داشته باشد.

دومین معیار انرژی است که بصورت زیر تعریف می شود: $\eta'_{ij}(t)$

$$\eta'_{ij}(t) = \frac{(E - e_j(t))^{-1}}{\sum_{j \in C(i)} (E - e_j(t))^{-1}} \quad (13)$$

فاصله بین مصرف انرژی گره در فهرست احتمال بیشتری برای انتخاب شدن دارد. این دو پارامترها در تابع صلاحیت الگوریتم LAWSN تضمین می کند که پراکندگی انرژی بطور مساوی بین گره های شبکه تقسیم شده است.

در اکثر اطلاعات مکان الگوریتم مسیر یابی بمنظور محاسبه فاصله بین دو گره خاص ضروری بوده تا مصرف انرژی تخمین زده شود. بنابراین اطلاعات مکان را می توان در داده های مسیر یابی بطور کارآمد مورد استفاده قرار داد. تابع مکان LAWSN را پیشنهاد داده، ϵ_{ij} بدین صورت تعریف می شود:

$$\epsilon_{ij} = \frac{d_{jd}}{\sum_{s_l \in C(i)} d_{ld}} \quad (14)$$

فاصله بین گره j (در فهرست گره i می باشد) و گره مقصد d می باشد. این معادله باعث می گردد تا گره نزدیک تر به گره مقصد در همسایگی فهرست احتمال بالاتری برای انتخاب به عنوان گره بعدی پرش در مسیر جاری داشته باشد.

اگر هیچ همسایگی گره بعدی جهت انتخاب وجود نداشته باشد بنابراین مورچه k به گره قبلی برگشته و به فهرست مورچه k اضافه میشود.

پس از اینکه همه مورچه ها مسیر خود را کامل کردند، هر مورچه مقداری فرمون که در این معامله آمده ذخیره می کند:

$$\Delta\psi_{ij}^k = \frac{(hop_{max} - hop_{count_k} + v)^{1.5} \times E_{avg_k}}{hop_{count_k}} \quad (15)$$

hop_{max} , hop_{count_k} و E_{avg_k} مانند معادله (10) معانی مشابهی دارند. مقدار فرمون در هر ارتباط گره در الگوریتم LTAWSN مانند معادله (4) تعریف شده است.

در این الگوریتم فرض می کنیم که نمیتوان چگالی فرمون را صفر یا مقدار منفی رساند و فرمون کمتر از مقدار پیش فرض نمی شود.

پس از تعریف مسئله طراحی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم LTAWSN بصورت زیر تعریف می شود:

الگوریتم LTAWSN

1. Start
2. Initialize the network size m and number of sensor nodes, number of ants and number of iterations; distribute nodes uniformly in this area
3. Initialize the default pheromone level of links between network nodes and also the energy level of each node;
4. A set of ants placed in source node
5. for (i=1 to iteration number)
6. begin
7. for (j=1 to ant number)
8. begin
9. Cnode (Current node) = source node
10. while Cnode!= destination node
11. Begin
12. Calculate energies and location metrics between current node and its neighbors in its candidate list according to formula (12), (13), (14).
13. Consider pheromone level between current node and its neighbors in its candidate list
14. Calculate k ()
ij P t probability function for nodes in candidate list of Cnode according to formula (11)
15. Choose the next-hop node
16. Cnode= next-hop node
17. End while
18. End for
19. Modify the path density of pheromone according to formula (15)
20. End for
21. End

جدول 1) پارامترهای شبیه سازی برای شبکه با اندازه $100 \times 100 \text{ m}^2$

مقادیر	پارامتر
$100 \times 100 \text{ m}^2$	اندازه شبکه
20m	R
300-125	تعداد گره ها
20	شماره مورچه
	0.8
0.01	$\psi_{ij}(0)$
1j	E

4.28 $\mu\text{J/bit}$	Et
2.36 $\mu\text{J/bit}$	Er
IEEE 802.11	پروتوکل لایه MAC

4. نتایج شبیه سازی

گره های WSN الگوریتم ها در ناحیه مشخصی بطور یکنواخت قرار داده شده است. پارامترهای استفاده شده در شبیه سازی در جدول یک نشان داده شده است. در این جدول، R شعاع حسگر ارتباط بیسیم، ρ میزان تبخیر، $\psi_{ij}(0)$ سطح اولیه فرمون برای گره های همسایه، E انرژی اولیه گره ها، Et مصرف انرژی در هر بیت انتقال و Er مصرف انرژی در هر بیت دریافتی می باشد. گره های حسگر m در ناحیه مدل شبیه سازی قرار گرفته و مقدار m بین 125-300 بوده و تجزیه و تحلیل نتایج شبیه سازی انجام می گیرد.

مقادیر پارامترهای الگوریتم ACA بدین صورت می باشد. $\alpha = 1, \beta = 1$ ، ACLR:

. $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$ مقادیر پارامتر الگوریتم EAACA بدین صورت می باشد:

و مقادیر پارامتر الگوریتم پیشنهادی بدین صورت می باشد: $\alpha = 1.5, \beta = 1.5$

$\gamma = 1.5, \delta = 2, \vartheta = 0.001. \alpha = 1.5, \beta = 1.5$

شبیه سازی الگوریتم LTAWSN مسیر یابی پیشنهادی جدید را با الگوریتم مسیر یابی EAACA، الگوریتم

مسیر یابی ACLR و ACA مسیر یابی ACO سنتی در میانگین مصرف انرژی شبکه مقایسه می کند.

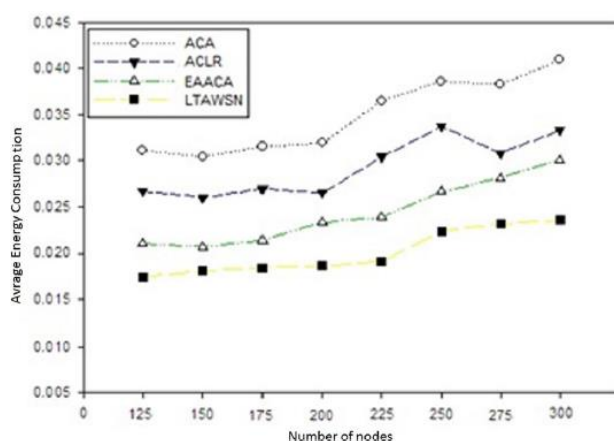
معیار مصرف میانگین انرژی اشاره به انرژی مصرف شده در شبکه جهت یافتن مسیر بهینه از گره منبع به گره مقصد دارد. جهت مقایسه عادلانه، از مصرف انرژی در هر بیت که در قسمت 56 نشان داده شده برای انتقال و دریافت داده ها در هر گره استفاده می گردد.

مصرف انرژی میانگین معیار اساسی در اندازه گیری مزیت های الگوریتم های مسیر یابی [5] می باشد. نتیجه

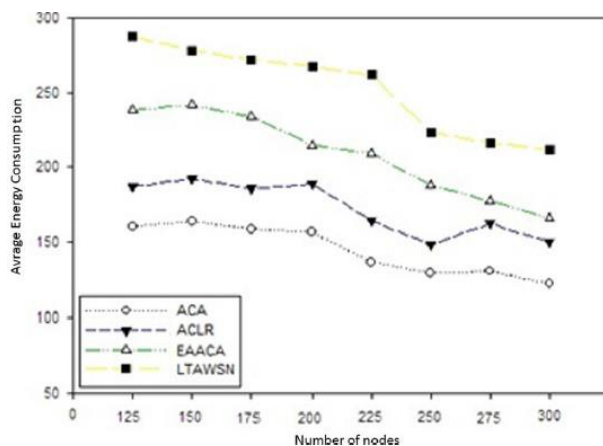
مصرف انرژی برای آزمایشات مستقل این الگوریتم ها در شکل 1 نشان داده شده است که هر گره در شبکه با گره

های مختلف عمل می کند. طول عمر این شبکه ها در شکل دو نشان داده شده است.

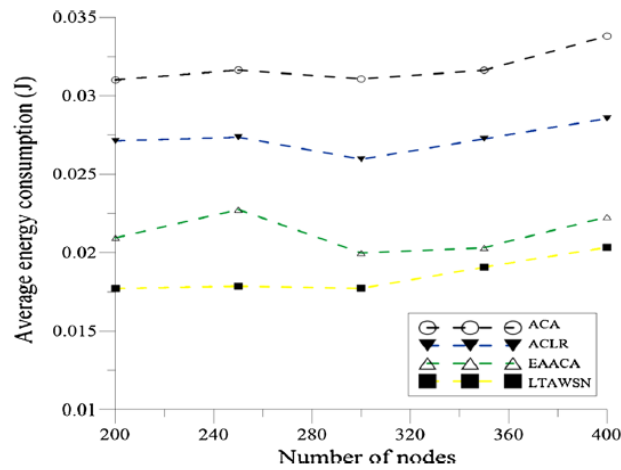
بمنظور نشان دادن اعتبار الگوریتم دو شبیه سازی با اندازه مختلف شبکه ارائه شده است. نتیجه مصرف انرژی با توپولوژی (200×200) در شکل 3 نشان داده شده است. شکل 4 نتیجه مصرف انرژی برای اندازه شبکه (500×500) و توپولوژی را توصیف می کند. پارامترهای شبیه سازی شده در این شبیه سازی در جدول 2 و 3 بطور نسبی نشان داده شده است. همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، در این شبیه سازی تعداد گره ها از 200 تا 400 گره متغیر می باشد. در شکل 4 تعداد گره ها از 330 تا 550 در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج شبیه سازی مصرف میانگین انرژی در روش پیشنهادی کاهش یافته است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی بهترین عملکرد در همه توپولوژی های بررسی شده را دارد. مصرف میانگین انرژی گره ها در الگوریتم پیشنهادی کمتر از الگوریتم های EAACA، ACLR و ACA می باشد. مصرف انرژی شبکه بمنظور افزایش طول عمر شبکه ذخیره می گردد. بنابراین الگوریتم پیشنهادی باعث میگردد شبکه طول عمر بیشتر و اعتبار بیشتری داشته باشد.



شکل 1 میانگین مصرف انرژی برای شبکه $100 \times 100 \text{ m}^2$



شکل 2. طول عمر شبکه برای شبکه با اندازه $100 \times 100 \text{ m}^2$



شکل 3- میانگین مصرف انرژی برای شبکه با اندازه $200 \times 200 \text{ m}^2$

جدول 2- پارامترهای شبیه سازی برای شبکه با اندازه $200 \times 200 \text{ m}^2$

Parameter	Values
Network size	$200 \times 200 \text{ m}^2$
R	40 m
Number of nodes	125–300
Ant number	20
ρ	0.8
$\psi_{ij}(0)$	0.01
E	1 J
E_t	$4.28 \mu\text{J/bit}$
E_r	$2.36 \mu\text{J/bit}$
MAC layer protocol	IEEE 802.11

جدول 3- پارامترهای شبیه سازی برای شبکه با اندازه $500 \times 500 \text{ m}^2$

Parameter	Values
Network size	$500 \times 500 \text{ m}^2$
R	50 m
Number of nodes	125–300
Ant number	20
ρ	0.8
$\psi_{ij}(0)$	0.01
E	1 J
E_t	$4.28 \mu\text{J/bit}$
E_r	$2.36 \mu\text{J/bit}$
MAC layer protocol	IEEE 802.11

5. نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم مسیر یابی جدید مبتنی بر ACO ارائه می دهیم که از پارامترهای فضایی در تابع صلاحیت استفاده کرده و یک اپراتور بروز فرمون بمنظور یکپارچه سازی مصرف انرژی و هاپ ها در انتخاب مسیر طراحی گردید. در این طرح قصد داریم سیستمی را ایجاد کنیم که تضمین می کند اتلاف انرژی در همه گره های شبکه بطور یکسان تقسیم شده است. بر اساس نتایج، الگوریتم پیشنهادی جدید در مقایسه با EAACA، ACLR و مسیر یابی ACA، الگوریتم مبتنی بر ACO دارای انتقال متعادل تری در میان گره داشته و مصرف انرژی مسیر یابی را کاهش داده و طول عمر شبکه و کارایی سیستم را افزایش می دهد.

References

1. Tanenbaum, A. S., Van Steen, M. (2006). Distributed system principles and paradigm, second edition.
2. Enami, N., Askari Moghadam, R., & Haghghat, A. T. (2010). A survey on application of neural networks in energy conservation of wireless sensor networks. In WiMo 2010, CCIS 84 (pp. 283–294). Heidelberg: Springer.
3. Jiang, X., & Hong, B. (2010). ACO based energy-balance routing algorithms for WSNs. In LNCS-6145 (pp. 298–305). Heidelberg: Springer.
4. Akkaya, K., Younis, M. (2003). A survey on routing protocols for wireless sensor networks.
5. Medina, C. D., & Cortes, N. C. (2010). Routing algorithms for wireless sensor networks using ant colony optimization. In MICAI 2010, part II, LNAL-6438 (pp. 337–348). Heidelberg: Springer.
6. Cheng, D., Xun, Y., Zhou, T., & Li, W. (2011). An energy aware ant colony routing algorithms for the routing of wireless sensor networks. In ICICIS 2011, part I, CCIS-134 (pp. 395–401). Heidelberg: Springer.
7. Wang, X., Li, Q., Xiong, N., & Pan, Y. (2008). Ant colony optimization-based location-aware routing for wireless sensor Fig. 3 Average energy consumption for the network with size of networks. In Y. Li, D. T. Huynh, S. K. Das, & D. Z. Du (Eds.), WASA 2008 (Vol. 5258, pp. 109–120)., LNCS Heidelberg: Springer.
8. Agarwal, T, Kumar, D., & Prakash, N. R. (2010). Prolonging network lifetime using ant colony optimization algorithm on LEACH protocol for wireless sensor networks. In NewCom, WiMon, WeST 2010, CCIS-90 (pp. 634–641). Heidelberg: Springer.
9. Shih, H. C., Chu, S. C., Roddick, J. F., Hung, M. H., & Pan, J. S (2010). Power reduction of wireless sensor networks using ant colony optimization. In International Conference on Computational Aspects of Social Networks (CASoN), 2010 (pp. 464–467).IEEE.
10. Handy, M. J., & Haase, M. (2008). Low energy adaptive clustering hierarchy deterministic cluster head selection. In Advances in Computer Science and Engineering. Kish Island, Iran.
11. Camilo, T., Carreto, C., Silva, J. S., & Boavida, F. (2006). An energy-efficient ant-based routing algorithm for wireless sensor networks. In M. Dorigo, L. M. Gambardella, M. Birattari, A. Martinoli, R. Poli, & T. Stutzle (Eds.), ANTS 2006 (Vol. 4150, pp. 49–59)., LNCS Heidelberg: Springer.
12. Zhong, Z., Tian, Z., Li, Z., & Xu, P. (2008). An ant colony optimization competition routing algorithm for WSN. In 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008 (pp. 1–4). IEEE.
13. Houang, R., Chen, Z. Xu, G. (2010). Energy-aware routing algorithm in WSN using predication-mode. IEEE 2010, 978-1- 4244-8223-8/10.
14. Amgoth, T., & Jana, P. K. (2014). Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks. Computers & Electrical Engineering.
15. Azharuddin, M., & Jana, P. K. (2015). A PSO based fault tolerant routing algorithm for wireless sensor networks. Information systems design and intelligent applications, 329–336.
16. Gu, X., Yu, J., Yu, D., Wang, G., & Lv, Y. (2014). ECDC: An energy and coverage-aware distributed clustering protocol for wireless sensor networks. Computers & Electrical Engineering, 40(2), 384–398.

17. Kassotakis, I. E., Markaki, M. E., & Vasilakos, A. V. (2000). A hybrid genetic approach for channel reuse in multiple access telecommunication networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 18(2), 234–243.
18. Attar, A., Tang, H., Vasilakos, A. V., Yu, F. R., & Leung, V. (2012). A survey of security challenges in cognitive radio networks: Solutions and future research directions. *Proceedings of the IEEE*, 100(12), 3172–3186.
19. Li, M., Li, Z., & Vasilakos, A. V. (2013). A survey on topology control in wireless sensor networks: Taxonomy, comparative study, and open issues. *Proceedings of the IEEE*, 101(12), 2538–2557.
20. Duarte, P. B., Fadlullah, Z. M., Vasilakos, A. V., & Kato, N. (2012). On the partially overlapped channel assignment on wireless mesh network backbone: A game theoretic approach. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(1), 119–127.
21. Jiang, T., Wang, H., & Vasilakos, A. V. (2012). QoE-driven channel allocation schemes for multimedia transmission of priority-based secondary users over cognitive radio networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 30(7), 1215–1224.
22. Han, K., Luo, J., Liu, Y., & Vasilakos, A. V. (2013). Algorithm design for data communications in duty-cycled wireless sensor networks: A survey. *Communications Magazine, IEEE*, 51(7), 107–113.
23. Youssef, M., Ibrahim, M., Abdelatif, M., Chen, L., & Vasilakos, A. V. (2014). Routing metrics of cognitive radio networks: A survey. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 16(1), 92–109.
24. Xiao, Y., Peng, M., Gibson, J., Xie, G. G., Du, D. Z., & Vasilakos, A. V. (2012). Tight performance bounds of multihop fair access for MAC protocols in wireless sensor networks and underwater sensor networks. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 11(10), 1538–1554.
25. Fadlullah, Z. M., Taleb, T., Vasilakos, A. V., Guizani, M., & Kato, N. (2010). DTRAB: Combating against attacks on encrypted protocols through traffic-feature analysis. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 18(4), 1234–1247.
26. Liu, X. Y., Zhu, Y., Kong, L., Liu, C., Gu, Y., Vasilakos, A. V., & Wu, M. Y. (2014). CDC: Compressive data collection for wireless sensor networks.
27. Sengupta, S., Das, S., Nasir, M., Vasilakos, A. V., & Pedrycz, W. (2012). An evolutionary multiobjective sleep-scheduling scheme for differentiated coverage in wireless sensor networks. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 42(6), 1093–1102.
28. Rahimi, M. R., Venkatasubramanian, N., Mehrotra, S., & Vasilakos, A. V. (2012, November). MAPCloud: mobile applications on an elastic and scalable 2-tier cloud architecture. In *Proceedings of the 2012 IEEE/ACM Fifth International Conference on Utility and Cloud Computing* (pp. 83–90). IEEE Computer Society.
29. Vasilakos, A., Saltouros, M. P., Atlassis, A. F., & Pedrycz, W. (2003). Optimizing QoS routing in hierarchical ATM networks using computational intelligence techniques. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 33(3), 297–312.
30. Liu, L., Song, Y., Zhang, H., Ma, H., & Vasilakos, A. V. (2015). Physarum optimization: A biology-inspired algorithm for the steiner tree problem in networks. *Computers, IEEE Transactions on*, 64(3), 819–832.
31. Meng, T., Wu, F., Yang, Z., Chen, G., & Vasilakos, A. (2015). Spatial reusability-aware routing in multi-hop wireless networks.
32. Chen, M., Gonzalez, S., Vasilakos, A., Cao, H., & Leung, V. C. (2011). Body area networks: A survey. *Mobile Networks and Applications*, 16(2), 171–193.
33. Yan, Z., Zhang, P., & Vasilakos, A. V. (2014). A survey on trust management for Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 42, 120–134.
34. Vasilakos, A. V., & Papadimitriou, G. I. (1995). A new approach to the design of reinforcement schemes for learning automata: Stochastic estimator learning algorithm. *Neurocomputing*, 7(3), 275–297.
35. Zeng, Y., Xiang, K., Li, D., & Vasilakos, A. V. (2013). Directional routing and scheduling for green vehicular delay tolerant networks. *Wireless Networks*, 19(2), 161–173.
36. Jing, Q., Vasilakos, A. V., Wan, J., Lu, J., & Qiu, D. (2014). Security of the internet of things: Perspectives and challenges. *Wireless Networks*, 20(8), 2481–2501.
37. Cheng, H., Xiong, N., Vasilakos, A. V., Yang, L. T., Chen, G., & Zhuang, X. (2012). Nodes organization for channel assignment with topology preservation in multi-radio wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks*, 10(5), 760–773.

38. Wei, G., Ling, Y., Guo, B., Xiao, B., & Vasilakos, A. V. (2011). Prediction-based data aggregation in wireless sensor networks: Combining grey model and Kalman Filter. *Computer Communications*, 34(6), 793–802.
39. Yen, Y. S., Chao, H. C., Chang, R. S., & Vasilakos, A. (2011). Flooding-limited and multi-constrained QoS multicast routing based on the genetic algorithm for MANETs. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(11), 2238–2250.
40. Liu, Y., Xiong, N., Zhao, Y., Vasilakos, A. V., Gao, J., & Jia, Y. (2010). Multi-layer clustering routing algorithm for wireless
41. Song, Y., Liu, L., Ma, H., & Vasilakos, A. V. (2014). A biologybased algorithm to minimal exposure problem of wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 11(3), 417–430.
42. Li, P., Guo, S., Yu, S., & Vasilakos, A. V. (2014). Reliable multicast with pipelined network coding using opportunistic feeding and routing. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, 25(12), 3264–3273.
43. Marwaha, S., Srinivasan, D., Tham, C. K., & Vasilakos, A. (2004, June). Evolutionary fuzzy multi-objective routing for wireless mobile ad hoc networks. In *Evolutionary computation, 2004. CEC2004. Congress on (vol. 2, pp. 1964–1971)*. IEEE.
44. Li, P., Guo, S., Yu, S., & Vasilakos, A. V. (2012, March). CodePipe: An opportunistic feeding and routing protocol for reliable multicast with pipelined network coding. In *INFOCOM, 2012 proceedings IEEE (pp. 100–108)*. IEEE.
45. Yao, Y., Cao, Q., & Vasilakos, A. V. (2013, October). EDAL: An energy-efficient, delay-aware, and lifetime-balancing data collection protocol for wireless sensor networks. In *Mobile ad-hoc and sensor systems (MASS), 2013 IEEE 10th international conference on (pp. 182–190)*. IEEE.
46. Sheng, Z., Yang, S., Yu, Y., Vasilakos, A., Mccann, J., & Leung, K. (2013). A survey on the ietf protocol suite for the internet of things: Standards, challenges, and opportunities. *Wireless Communications, IEEE*, 20(6), 91–98.
47. Xiang, L., Luo, J., & Vasilakos, A. (2011, June). Compressed data aggregation for energy efficient wireless sensor networks. In *Sensor, mesh and ad hoc communications and networks (SECON), 2011 8th annual IEEE communications society conference on (pp. 46–54)*. IEEE.
48. Wang, X., Vasilakos, A. V., Chen, M., Liu, Y., & Kwon, T. T. (2012). A survey of green mobile networks: Opportunities and challenges. *Mobile Networks and Applications*, 17(1), 4–20.
49. Chilamkurti, N., Zeadally, S., Vasilakos, A., & Sharma, V. (2009). Cross-layer support for energy efficient routing in wireless sensor networks. *Journal of Sensors*.
50. Busch, C., Kannan, R., & Vasilakos, A. V. (2012). “Approximating congestion? dilation in networks via” quality of routing; games. *Computers, IEEE Transactions on*, 61(9), 1270–1283.
51. Xu, X., Ansari, R., Khokhar, A., & Vasilakos, A. V. (2015). Hierarchical data aggregation using compressive sensing (HDACS) in WSNs. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 11(3), 45.
52. Dvir, A., & Vasilakos, A. V. (2011). Backpressure-based routing protocol for DTNs. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 41(4), 405–406.
53. Vasilakos, A. V., Zhang, Y., & Spyropoulos, T. (Eds.). (2011). *Delay tolerant networks: Protocols and applications*. Boca Raton: CRC Press.
54. Cobo, L., Quintero, A., & Pierre, S. (2010). Ant-based routing for wireless multimedia sensor networks using multiple QoS. *Computer Networks*, 54, 2991–3010.
55. Camilo, T., Carreto, C., Silva, J. S., Boavida, F. (2006). An energy-efficient ant-based routing algorithm for wireless sensor networks. In *ANTS 2006, LNCS-4150 (pp. 49–59)*. Heidelberg: Springer.
56. Torres, M. G. (2006). *Energy consumption in wireless sensor networks using GSP*. Medellin, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
57. Acharya, A., Seetharam, A., & Bhattacharyya, A. (2009). Balancing energy dissipation in data gathering wireless sensor networks using ant colony optimization. In *LNCS-5408 (pp.437–443)*. Heidelberg: Springer.
58. Zhu, X. (2007). *Pheromone based energy aware directed diffusion algorithm for wireless sensor network*, vol. 4681 (pp.283–291). Heidelberg: Springer.
59. Farooq, M. & Caro, G. A. (2008). Routing protocols for nextgeneration networks inspired by collective behaviors of insect societies an overview. *Swarm Intelligence*, 283–291.

60. Eftekhari, P., Shokrzadeh, H., & Haghghat, A. T. (2010). Cluster- base directional rumor routing protocol in wireless sensor network. In *Information and Communication Technologies* (pp.394–399). Heidelberg, Berlin: Springer.
61. Rivero, J., Cuadra, D., Calle, J., & Isasi, P. (2011). Using the ACO algorithm for path searches in social networks. Berlin: Springer.
62. Kolavali, R., & Bhatnagar, S. (2009). Ant colony optimization algorithms for shortest path problems. In *NET-COOP 2008, LNCS 5425* (pp. 37–44) Heidelberg: Springer.
63. Okdem, S., & Karaboga, D., Routing in wireless sensor networks using ant colony optimization. In *Proceedings of the first NASA/ ESA conference on adaptive hardware and systems, IEEE*. Abdolreza Mohajerani received the B.S. degree in communication from Arak University (2013), Arak, Iran, and studding on M.S. in communication-system in Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. My main research interests include wireless efficiency and mobile network optimization, stochastic and probabilistic models. Davood Gharavian was born in Neyshabour, Iran, in 1973. He received the B.S. degree in electronic engineering from Amirkabir University, Tehran, Iran, in 1995 and M.S. in communication engineering from Tarbiat Modares University, Tehran, Iran in 1998 and Ph.D. degrees in electronic engineering from Amirkabir University, Tehran, Iran in 2004. He is currently an Assistant Professor in Electrical Engineering Department of Shahid Beheshti University. His research interests include digital signal processing, speech and image processing, digital signal processor, industrial networks and smart grid. Dr. Gharavian has published more than 21 journal papers and more than 17 conference papers. He is the author of two books in the fields of communication systems and power line carrier.