



طرح زمانبندی خواب/بیدار

برای رسیدن به کمترین تاخیر نقطه به نقطه

در شبکه های حسگر بی سیم

Multi-Hop

دوره درس : سال تحصیلی ۹۲-۹۱ (نیمسال دوم)

درس : شبکه های کامپیوتری پیشرفته

استاد : جناب آقای دکتر حسینی

دانشجو : علیرضا طاهر دوست محمدی

شماره دانشجویی (۹۱۶۳۸۵۷۳۳۹)

فهرست مطالب

۳	مقدمه
۸	بخش دوم - فعالیتهای مرتبط
۱۶	بخش سوم - طرح زمان بندی پیشنهادی
۱۶	۳-۱ تشریح مسئله
۱۷	۳-۲ راه حل پیشنهادی
۱۹	۳-۳ تشریح پروتکل پیشنهادی
۲۱	۳-۳-۱ فاز راه اندازی
۲۳	۳-۳-۲ فاز عملیات
۲۸	بخش چهارم - شبیه سازی و نتایج
۲۸	۴-۱ راه اندازی شبیه سازی
۲۹	۴-۲ خلاصه رویدادها
۳۰	۴-۳ مدل انرژی
۳۱	۴-۴ نتایج و بررسیها
۳۲	۴-۴-۱ میانگین تاخیر هر بسته
۳۴	۴-۴-۲ میانگین تاخیر هر بسته
۳۵	۴-۴-۳ نرخ از دست دادن بسته
۳۷	۴-۴-۴ گذردهی (بسته ها بر ثانیه)
۳۸	۴-۴-۵ طول عمر پوشش
۴۰	بخش آخر - تحلیل و نتیجه گیری
۴۲	منابع و ماخذ

آخرین پیشرفت در سیستمهای توزیع شده و میکرو الکترومکانیکی ، که در چند سال گذشته بدست آمده است ، گستره وسیعی از شبکه های حسگر بیسیم بهره برداری گردید از جمله در زمینه نظامی [1] ، مدیریت حوادث طبیعی [2]، ساختمان ، بهداشت [3] ، محیط زیست ، صنعت و مجموعه هایشان .

شبکه های حسگر بی سیم شبکه ای از سنسور نود های توزیع شده می باشد که مجهز به حس کردن، محاسبات، انرژی و ماژولهای ارتباطی می باشد که برای مانیتورینگ یک پدیده خاص مانند زیست محیطی داده ها و یا ردیابی اشیاء می باشد [4,5].

نود ها در چنین شبکه هایی با مشخصه های زیر سر و کار دارند :

۱. محدودیت انرژی

۲. محدودیت پردازش

۳. محدودیت حافظه

نکته : از آنجاییکه مصرف انرژی در سنسور نودها از باتری می باشد ، برای آنکه بخواهند باتری را شارژ و یا تعویض کنند بسیار مشکل است بدلائل هزینه (از جمله هزینه باتری و کار تعویض) یا بدلائل جغرافیایی (از جمله سختی زمین و یا در شرایط غیردوستانه وارد شدن) .

یک گره حسگر مصرف انرژی در چهار عملیات زیر دارد:

۱. حس کردن داده

۲. دریافت اطلاعات

۳. ارسال داده ها

نکته : بطور کلی، بیشترین عناصر مصرف انرژی مختص به ماژول RF می باشد که ارائه گر ارتباطات بی سیم است.

نتیجه گیری که در این قسمت می توان داشت ؛ اینستکه از بین تمام عملیات نودهای حسگر ، ارسال و دریافت داده ، مصرف انرژی بیش از سایر عملیاتها دارد . بعنوان مثال ، مصرف انرژی برای انتقال یک بیت داده روی کانالهای بی سیم معادل با انرژی لازم برای اجرای هزاران سیکل دستورالعمل در سطح پردازش کننده می باشد [5].

بنابراین استفاده موثری از انرژی در پروتکلهای ارتباطی شبکه های حسگر بی سیم^۱ ، باعث افزایش عمر حیات شبکه می شود . از اینرو ، پروتکلهای لایه های سخت افزار ، شبکه^۲ و انتقال^۳ که برای این شبکه ها طراحی شده اند ، باید توجه به استفاده موثر از ماژول RF داشته باشند که برای اینکار موارد زیر لازمست :

۱. به حداقل رساندن تصادمها در لایه های سخت افزار^۴

۲. کنترل سربار پیامها در مسیریابی

۳. زمان بندی موثر خواب/بیدار

علاوه بر این ، در مدت طراحی پروتکل ، منابع محدودی از نودهای حسگر از قبیل قدرت پایین پردازش کننده ، حافظه کمتر ، ارتباطات برد کوتاه و شدت حسگری کمتر باید در نظر گرفته شوند .

عموما ، شبکه های حسگر بی سیم فعالیتشان بدین صورت است که اکثر زمانها در حالت بیکار^۱ می مانند و فقط گاهی اوقات داده ارسال می کنند . در ضمن میزان مصرف انرژی برای گوش دادن به کانال بیکار (بدون استفاده) معادل با مصرف انرژی در هنگام ارسال و دریافت داده می باشد و بسیار بیشتر از مصرف انرژی در حالت خواب می باشد [۴].

بمنظور دریافت داده گیرنده ها باید در بالاترین سطح انرژی باشد. برای مثال: حالت فعال/گوش دادن^۲. از آنطرف در حالت خواب^۳، رادیو در پایین ترین سطح انرژی با مدارات خاموش می باشد [۶،۷]. اگر دریافت کننده بصورت ۱۰۰ درصد فعالیت داشته باشد یا عبارتی فرستنده و گیرنده آن همیشه روشن باشد آن دستگاه نود، داده ها را با تحمل هزینه انرژی بسیار دریافت می دارد؛ لذا برای کاهش مصرف انرژی مستلزم کاهش فعالیت می باشد. این حقیقت که با استفاده از تکنیکهای زمان بندی خواب/بیدار و اثرپذیری آنها می توان اتلاف انرژی را در حالت بیکار^۵ کاهش داد و این خود باعث بهره وری می گردد.

انواع پروتکل‌های زمان بندی خواب/بیدار در این گزارش ارائه می گردد. بیشتر پروتکلها از یک دوره زمانی داخلی خواب/بیدار بهره می برند (شکل ۱) و بدین ترتیب با حفاظت از انرژی در هزینه های تاخیر و ارسال/دریافت، تاثیرگذار می باشد.

برای مثال: یک نود منبع که انتقال داده را انجام می دهد، آن زمان بندی نود همسایه خود را از نظر خواب/بیدار می داند و منتظر آن نود برای برگشت به حالت فعال باقی می ماند. این روند تکرار می گردد تا داده به مقصد نهایی برسد و اینکار منجر به تاخیر بی اندازه ای می گردد. این افزایش تاخیر معادل با چندین بار طول زمان بیداری در حرکت داده بسمت جلو بوجود می آید [8]. این تاخیرات انرژی در سیستمهای شبکه بی سیم که نیاز دارند سریعاً پاسخگو باشند و یا کنترل‌های بر زمان را نیاز دارند جزء مشکلات اصلی محسوب می گردند.

در بسیاری از پروتکل‌های خواب/بیداری شبکه های حسگر بیسیم، آگاهی از انرژی بعنوان یک موضوع کلیدی مهم مطرح می گردد تا بتوانند طول عمر شبکه را از بابت هزینه زمان، تاخیر و ارسال/دریافت به حداکثر برسانند. در این گزارش، مشکل تاخیر را به حداقل رساندن در زمان بندی خواب/بیدار برای شبکه های حسگر رویداد محور در سیستمهای حساس به تاخیر مورد بررسی قرار گرفته است که برای آن یک راه حل توزیعی و کمی پیچیده در این خصوص ارائه می گردد.

Idle State^۱
Active/Listen^۲
Sleep State^۳

این طرح که بر اساس زمان بندی توسعه ای می باشد بر اساس مشخصه های ترافیکی از نودها پایه گذاری شده تا بتواند تاخیر را کاهش داده و همزمان باعث اصلاح بهره وری انرژی گردد. برای کاهش تاخیر، پروتکل های پیشنهادی از طرح زمان بندی خواب/بیداری عمومی را برای همه نودها استفاده نمی کنند و ترجیحا از ساختاری استفاده می کنند که طول فعال بودن گره را با توجه به حجم ترافیکی، در سه سطح مختلف افزایش می دهد.

اولا: گره ای که فاصله زمانی بیداریش افزایش می یابد، باید فاصله مسافت خود را از نود اصلی^۱ کاهش دهد تا نودها، داده هایشان را خیلی خوب و تاخیر کمتر از طریق این نودها به نود اصلی برسانند.

ثانیا: فاصله زمانی بیداری نودها بر اساس اهمیت توپولوژی آنها می بایستی افزایش یابد. اولویت توپولوژی می تواند بر اساس قانون نودها در اتصالات شبکه می تواند تعیین و مشخص گردد.

بعنوان مثال یک نودی که از شبکه قطع می گردد (مثلا نود مذکور تنها نود ارتباط دهنده دو بخش از شبکه باشد)، انتظار می رود بار ترافیکی بیشتری را برای شبکه نسبت به یک نود عادی در پی داشته باشد زیرا ترافیک این دو زیر شبکه، توسط این نود هدایت و جهت دهی می گردید. و همچنین این نودها نیاز به فواصل طولانی دارند.

ثالثا و نهایتا: در صورت وقوع رویدادی در یک نود، فاصله زمانی بیداری در نود خاص که همسایه اش هستند باید بیشتر شود تا مشارکت داشته باشند در اینکه بیشتر رویدادها در همان نود یا در نزدیکی آنها روی می دهد.

سهام اصلی از این گزارش بطور خلاصه بشرح زیر می باشد:

در بخش اول، اهمیت مشکل کاهش تاخیر را بحث می کند و استفاده از زمان بندی خواب/بیدار متغیر را برای نودهای مختلف بر اساس نیاز بار ترافیکی آنها بیان می دارد و آن در نقطه مقابل رویکرد خواب/بیدار عمومی می باشد.

در بخش دوم ، طرح زمان بندی خواب/بیدار برای به حداقل رساندن تاخیر نقطه به نقطه ^۱ (SMED) را در شبکه های حسگر بی سیم چندپرشه ^۲ را معرفی می کند تا بتواند مشکل کاهش تاخیر را حل کند . بمنظور کاهش تاخیر ، این طرح نودها را برای خواب/بیدار متفاوت ، مشخص می کند که اینکار بر اساس بار ترافیک در سه سطح متفاوت معین می نماید :

۱. مسافت نود از نود سینک ^۳

۲. اهمیت توپولوژی نود

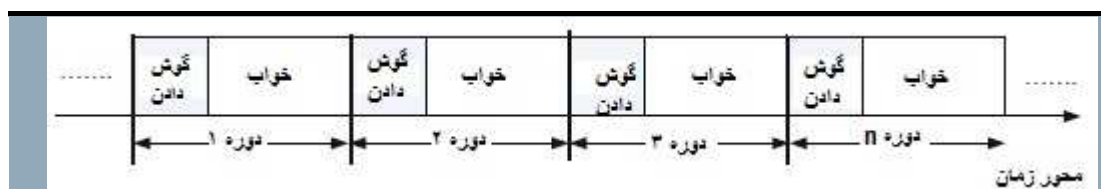
۳. انفجار ترافیک در مجاورت از رویدادهای رخ داده را حل و فصل نماید .

در بخش سوم و یا انتهایی ، شبیه سازهای زیادی عملکرد پروتکل پیشنهادی را ارزیابی می کنند ؛ و اینکار را با مقایسه کارایی آنها با پروتکل S-MAC و AnyCast انجام می دهند . نتایج نشان می دهد که این طرح بصورت موفقیت آمیز نتایج زیر را کسب نمود :

۱. به حداقل رساندن تاخیر نقطه به نقطه

۲. بهبود دیگر پارامترهای مسیریابی کیفیت سرویس اعم از میانگین انرژی بر بسته ، نسبت از دست دادن بسته ها ، ارسال/دریافت و طول عمر شبکه .

بقیه گزارش بشرح زیر دسته بندی شده اند . در بخش ^۲ ، فعالیتهای مرتبط خلاصه شده اند . در بخش ^۳ ، طرح مذکور معرفی می گردد . در بخش ^۴ ، نتایج شبیه سازی ارائه می گردد . در بخش ^۵ ، نتایج حاصله بیان می گردند .



شکل ۱- زمان بندی دوره های خواب و بیداری عمومی در نودهای شبکه

^۱ SMED
^۲ Multi-Hop
^۳ Sink Node

در طول این سالها ، صرفه جویی در مصرف انرژی بعنوان یکی از موضوعات بحرانی در شبکه های حسگر بیسیم مطرح می گردد . برای اکتساب صرفه جویی در انرژی ، بسیاری از مکانیسمهای حفاظت از انرژی^۱ پیشنهاد شده است [۹،۱۰]. تحقیقات نیکولاس [۱۱] ، یک بررسی جامع از پروتکلهای مختلف حفاظت از انرژی را بیان می دارد . آن مکانیسمهای حفاظت از انرژی را به دو دسته عمده تقسیم می کند :

۱. فعال^۲ : این طرحها باعث افزایش بهره وری انرژی در سطح پروتکل (لایه های شبکه ، حمل و انتقال) می گردد

۲. منفعل^۳ : این طرحها تکیه بر سخت افزار آگاه از انرژی دارد . برای مثال : رادیوهای و پردازشگرهای با مصرف کم

انرژی [۱۲-۱۵].

زمانیکه نودها بیکار هستند ، آنها به وضعیت خواب برای کاهش مصرف انرژی می روند (فرستنده و گیرنده خود را خاموش می کنند) و با استفاده از تایمر بیدار می شوند (فرستنده و گیرنده خود را روشن می کنند) .

بر اساس تصمیمی که برای خاموش /روشن نمودن فرستنده و گیرنده انجام می شود ، این طرح به دو دسته تقسیم می شود :

۱. طرح دانه ریز^۴

۲. طرح دانه درشت^۵

در طرح دانه ریز ، نود زمانی که هیچ فریمی به مقصد این نود وجود ندارد ، برای یک فریم^۱ انتقال ، فرستنده/گیرنده را خاموش می کند . یک مثال از این طرح می توان به چند دسترسی آگاه از قدرت با سیگنالینگ^۲ اشاره نمود .

^۱ PCM
^۲ Active
^۳ Passive
^۴ Fine Grain
^۵ Coarse Grain

در چند دسترسی آگاه از قدرت با سیگنالینگ^۲، وقتی یک نود از هر نود دیگری داده را دریافت می کند، آن نود وضعیت اشغال را روی کانالهای کنترلی ارسال می کند تا بدین طریق به نود همسایه بگوید که به وضعیت خاموش بروند. یک سنسور نود فرستنده/گیرنده خود را خاموش می کند زمانیکه هیچ داده ای را برای ارسال ندارد و همسایه هایش ارتباط با دیگر نودها را شروع می کنند.

برعکس آن، مکانیسم حفاظت از انرژی درشت دانه^۱، تصمیم زمانی به روشن یا خاموش می گیرد که ارسال/دریافت توسط یک سرویس انحصاری - بالای لایه سخت افزار و انتقال^۳ انجام شده باشد [۹]. مکانیسم دانه درشت بیشتر به دو دسته زیر تقسیم شده اند:

۱. توزیع شده

۲. بر اساس زیرساخت

در مکانیسم توزیع شده، وقتی که تصمیمی به روشن یا خاموش می گیرد، فرستنده/گیرنده اطلاعات محلی خود و اطلاعات زمان بندی خواب همسایه هایش را می گیرد. S-MAC یک مثالی از پروتکل منفعل توزیع شده دانه درشت می باشد و یکی از اولین پروتکلهای طراحی شده می باشد که برای کاهش مصرف انرژی در شبکه های سنسور بی سیم بکار می رود.

در پروتکل S-MAC، نودها بطور تصادفی روشن و خاموش می شوند تا صرفه جویی در مصرف انرژی را داشته باشیم. ترافیک بسمت مقصد - در این شرایط تصادفی - اگر نودی خواب باشد موقتا توسط همسایه های فعال ذخیره می گردند. نودهای خواب بعد از دوره فاصله زمانی از خواب بیدار می شوند و داده هایشان را از همسایگانیشان دریافت و ذخیره می کند. این پروتکل مصرف انرژی را بهینه میکند و آنقدر بزرگ که در مقابل هزینه های افزایش تاخیر ملموس نباشد.

در رویگرد بر اساس زیرساخت ، مازول حفاظت از انرژی در نود زیرساخت قرار دارد . این نودهای زیرساخت که بعنوان هماهنگ کننده عمل می کنند ، همزمانی از زمان بندی خواب را انجام و همچنین بعنوان پروکسی برای نودهای سنسور خواب فعالیت دارد . SPAN یک مثالی از طرح حفاظت از انرژی دانه درشت ، بر اساس زیرساخت می باشد ، که در آن هر نود تصمیم گیری می کند که به وضعیت خواب برود و یا به زیرساخت متصل گردد . هر نود تصمیم گیری فوق را بر اساس موارد زیر انجام میدهد :

۱. انرژی

۲. تخمینی مبنی بر اینکه چه تعداد همسایه اش از شرایط بیداری بهره می برند

در مقابل مرجع [۱۹] ، یک طرحی بر اساس طراحی لایه هم ارز با زیرساخت مجازی شکل گرفته اند را بیان می دارد که از کلاسترینگ^۱ استفاده می کنند .

مکانیسمهای حفاظت از انرژی دانه درشت می تواند به سه نوع اصلی تقسیم گردند :

۱. بر اساس تقاضا^۲

۲. ملاقات برنامه ریزی شده^۳

۳. آسنکرون^۴

➤ در پروتکل‌های بر اساس تقاضا ، یک نود زمانی بیدار می شود که تعدادی دیگر نودها بخواهند با او صحبت کنند . انرژی کمی که برای بیداری رادیو نیاز است همراه با کل انرژی رادیو در جهت بررسی این موضوع بکار گرفته می شود که آن توسط مقیاسهای جغرافیایی محدود می شود (بعنوان مثال ، رنج رادیدی بیدار خیلی محدود و کم است) . در

^۱ Clustering
^۲ on-demand
^۳ scheduled rendezvous
^۴ asynchronous

توپولوژی اسپارس و مدیریت انرژی^۱ [۲۱]، هر نود بیکن^۲ روی کانل بیدار می فرستد تا به گیرنده اطلاع دهد که قصد برقراری ارتباط دارد. نود گیرنده با فرستادن یک سیگنال تأییدی^۳ آنرا پاسخ می دهد و سپس فرستنده روی کانال داده ارسال می کند.

STEM-C یک سیگنال صوتی بیداری قبل از محاسبات ارسال می کند. برخلاف یک سیگنال بیکن^۲ بیداری، که تنها توسط یک گیرنده دریافت می شود، یک سیگنال صوتی بیداری توسط همه نودهای همسایه دریافت می شود. در مرجع [۲۳]، یک طرح سیگنال صوتی بیداری خط لوله ای^۴ ارائه شده است. در این طرح از دو کانال مختلف استفاده می شود، یکی برای سیگنال بیداری و دیگری برای انتشار بسته داده. از اینرو، نود گیرنده بصورت دوره ای از خواب بیدار می شود و فرستنده هم زمانیکه یک رویدادی را تشخیص داد، سک سیگنال صوتی بیدار ارسال می کند.

نکته: با رویکردهای فوق، طرح سیگنال صوتی بیداری خط لوله ای^۴ بطور قابل توجهی در مقایسه با توپولوژی اسپارس و مدیریت انرژی^۱ تاخیر پیامها را کاهش می دهد. استفاده از یک رادیوی (بیدار) اضافی دارای دو محدودیت اساسی است: هزینه و رنج (محدوده).

➤ در رویکرد ملاقات برنامه ریزی شده^۵، نودها طوری برنامه ریزی شده اند که همان زمانی بیدار شوند که دیگر نودهای همسایه بیدار هستند. در این راه، یک نود می تواند با همسایگانش ارتباط داشته باشد بعنوان نودهای هم محله ای که دارای فاصله زمان بندی بیداری یکسانی هستند. موضوع این طرح مختص به آن نودهایی می باشد که چندین زمان بندی بیداری را دارا هستند.

^۱ Sparse Topology and Energy Management (STEM)
^۲ Beacon
^۳ Ack
^۴ Pipelined Tone Wakeup (PTW)
^۵ scheduled rendezvous

➤ در رویکرد آسنکرون ، یک نود می تواند در هر زمانیکه بخواهد ارتباط برقرار کند ، بیدار شود . در ضمن تداخل بین فواصل بیداری نودهای مرتبط تضمین شده است . برای اولین بار رویکرد آسنکرون برای شبکه های موردی^۱ IEEE 802.11 بکار رفت . بعدها ، مکانیسم بیداری آسنکرون در شبکه های فوق به شبکه های سنسور بیسیم تسری یافت .

طرحهای MAC که بر روی بهره روی مصرف انرژی فوکوس می کند بر این اساسند که نودها اجازه دهند به خواب بروند و به بیداری برگردند . یکی دیگر از طرحهایی که در این مورد ارائه شده است ، طرح زمان بندی خواب بر پایه مسافت – خطی که برای شبکه های سنسور بر اساس کلاستر^۲ پیشنهاد شده است . در این طرح ، یک سنسور نود تصمیم می گیرد به وضعیت خواب برود و اینکار را بر اساس تناسب فاصله اش از کلاستر^۳ می گیرد . البته نتایج این طرح در مصرف انرژی نابرابری از سنسور نودها در کلاستر^۳ می باشد .

در مرجع [۲۷] به یک رویکردی می پرداز که کارایی انرژی بین نودها متعادل شده است با در نظر گرفتن کل انرژی که در ارتباطات و حس کردنها صرف شده است .

در مرجع [۲۸] ، الگوریتم صرفه جویی انرژی عمومی^۴ و الگوریتم صرفه جویی انرژی انطباقی^۵ پیشنهاد می شود .

➤ در طرح الگوریتم صرفه جویی انرژی عمومی^۱ ، نودها بین سه وضعیت خواب ، فعال و بیکار سوئیچ می کنند و اینکار را بر اساس اطلاعاتی که از لایه های بالاتر (لایه مسیریابی^۶ ، برنامه^۷) کسب می شود صورت می گیرد . بعنوان مثال ، نود وضعیت خود را از فعال به خواب تغییر می دهد اگر آن چیزی برای ارسال ندارد .

➤ در طرح الگوریتم صرفه جویی انرژی انطباقی^۲ ، با پروتکل مسیریابی بر اساس تقاضا کار می کند .

Ad-Hoc^۱
Cluster-Based Sensor Networks^۲
Cluster Head^۳
BECA^۴
AFECA^۵
Routing Layer^۶
Application Layer^۷

SPAN در مرجع [۱۸] برای افزایش وضعیت خواب نودها پیشنهاد می گردد در حالیکه همان تاخیر ترافیکی ثابت بماند. بدین منظور، تعدادی از نودها که هیچوقت خواب نیستند بعنوان هماهنگ کننده محسوب می شوند. هماهنگ کننده ها نقش محوری ایفا می کنند و زمان فواصل خواب/بیدار همه نودها را تعریف می کنند. از طرفی این نودها چون همیشه فعال هستند بنابراین تنها هماهنگ کننده ها در مسیریابی شرکت می کنند.

در مرجع [۲۹]، یک پروتکل زمان بندی خواب مبتنی بر بازگشت، پیشنهاد می شود تا مصرف انرژی نود در شبکه کاهش یابد در حالیکه همان پوشش حسگری باقی مانده است. در اینجا هر نود، پوشش حسگری مکمل خود را می یابد و تصمیم برای رفتن به وضعیت خواب می گیرد، اگر پوشش حسگری در شرایط خاموش بودن آن حفظ می گردد. یک مکانیسم بازگشت استفاده می شود تا از خوابیدن دو یا چند گره بطور همزمان جلوگیری گردد. هر نود در شبکه مستقل و بصورت دوره ای با استفاده از اطلاعات نودهای همسایه تصمیم گیری برای رفتن به وضعیت خاموش/روشن می گیرد.

برای حفظ پوشش حسگری، یک نود تصمیم به خاموش شدن می گیرد زمانی که آن می فهمد که همسایه هایش در نظارت بر کل محیط کاری کمک می کنند. یک طرح بر پایه بازگشت تصادفی معرفی می گردد تا ابهاماتی باقی نماند.

سنسور دینامیکی MAC^۱ در مرجع [۳۰] یک چرخه خوابیدن دینامیکی را معرفی می کند که با توسعه SMAC بدست آمده است که بر اساس زمان تاخیر شبکه و انرژی قابل دسترس برای نودی که نودی پایه ای هست.

در PMAC طبق مرجع [۳۱]، زمان بندی خواب برای کل شبکه بصورت دینامیکی براساس ارسال/دریافت ساخته می شود و از دوره های خواب طولانی استفاده می شود زمانی که کارایی شبکه پایین هست.

در UMAC طبق مرجع [۳۲]، زمان بندی خواب متغیر به نودهای مختلف، بر اساس کارایی شبکه داده می شود. نودها اتفاق می افتد که زمان بندی خواب را از نودهای همسایه هایشان یاد می گیرند و بیدار می شوند تا انتقال دهنده داده زمانیکه نود مقصدشان بیدار هست، باشند.

در مرجع [۳۳]، طرح بسمت جلوی بسته ها در AnyCast پیشنهاد می شود، که در آن هر نود از چندین پرش بعدی^۱ برخوردارند که این بستگی به نودهایی که در این پرش، برای حرکت بسمت جلو، کاندید می گردند. بنابراین زمانیکه یک نود داده ارسال می کند، آن نیاز دارد تا منتظر بیدار شدن نودی که در پرش بعدی مشخص شده است بماند، که ترجیحا آن بسته را برای اولین نودی از مجموعه بسمت جلو مشخص شده و بیدار است را می فرستد. در مجموع اینکار باعث کاهش مدت تاخیر یک پرش^۲ می گردد.

با مرور بر روی انواع طرحهای گفته شده می توان نتیجه گرفت که در بیشتر طرحهای خواب/بیدار، همه نودها از همان زمان بندی خواب/بیدار عمومی استفاده می کنند و هر نودی برای خودش تصمیم به خواب رفتن را می گیرد؛ و این تصمیم را بدون در نظر گرفتن همسایه هایش می گیرد تا انرژی خود را ذخیره کند. اگرچه، معمولا در شبکه های حسگر بیسیم از ارتباطات چند پرشه^۳ استفاده می شود، هر نود برای پرش بعدی^۲ یک نودی را از بین نودهای همسایه تعیین کرده است؛ بنابراین برای انجام فرایند انتقال، نود فرستنده باید منتظر بماند تا نود مورد نظر در پرش بعدی بیدار گردد. بطور مشابه، در ارسال بسمت جلو در نودها باید همین انتظار را برای سایر نودهای مسیر مشخص شده، سپری نمود تا پیام به نود سینک^۴ برسد.

در نتیجه، با توجه به مستقل بودن زمان بیداری هر نود، تاخیرها در هر پرش در امتداد مسیر تا رسیدن به سینک با یکدیگر جمع می شود. این جمع شدن بدان دلیل است که هر نود در هر پرش باید منتظر بیداری نود بعدی گردد تا بسته را برای آن نود ارسال کند. همه این تاخیرها در هر پرش کمک می کند تا تاخیر نقطه به نقطه بسته ها نهایی گردد. در ضمن این افزایش

^۱ Next-Hop
^۲ One-Hop
^۳ Multi-Hop
^۴ Sink Node

تاخیر معادل با کل تعداد مرتبه متوسط میزان زمان بیداری در روند بسمت جلو می باشد [۱۷]. این تاخیر برای بسیاری از سیستمهای حساس به تاخیر قابل قبول نیست از جمله نظارت نظامی، زنگ هشدار سونامی، بیمارستان هوشمند، ثبت زمین لرزه، مانیتورینگ سلامت بیماران، سنجش محیط خطرناک، تشخیص آتش سوزی، تشخیص نفوذ، مانیتورینگ فاجعه و کنترل بر زمان^۱، که همگی لازم دارند گزارش رویداد با کمترین تاخیر باشد.

در این گزارش، مشکل به حداقل رساندن تاخیر مورد بررسی قرار گرفته است و و طرح زمان بندی خواب/بیدار ارائه شد تا بهترین فاصله بیداری از نودها را انتخاب کند که اینکار را بر اساس بار ترافیکی نود غیرمشابه، ارائه شده است. پروتکل پیشنهادی ارائه گر راه حلهای توزیع شده و دارای پیچیدگی کم را برای این مشکلات بیان می دارد.

۳-۱ تشریح مسئله

زمان بندی خواب/بیدار برای ذخیره سازی انرژی و بسط طول عمر شبکه استفاده می شود؛ صرفه جویی در مصرف انرژی معاوضه با تاخیر می باشد. بنابراین عموماً در استراتژی زمان بندی خواب/بیدار، افزایش مدت عمر شبکه بدست می آید که آن مسبب افزایش تاخیر می گردد. در تعدادی سیستمهای حساس به تاخیر، پاسخ برخط^۱ لازمست و چنین تاخیراتی را تحمل نمی کنند. در این گزارش، مشکل کاهش تاخیر را برای سیستمهای حساس به تاخیر مورد توجه قرار گرفته است.

بعنوان اولین چالش برای به حداقل رساندن تاخیر مورد انتظار نقطه به نقطه، شناسایی مناطق مختلف می باشد که در آن می توان تاخیر اضافی را به حداقل رساند. برای رسیدن به این هدف، به حداقل رساندن تاخیر، در سه سطح می توان آنالیز، تجزیه و تحلیل و مورد توجه قرار گرفته است:

۱. تاخیر بدلیل بار ترافیک در نودهای نزدیک به نود سینک^۲ رخ داده است،
۲. تاخیر بدلیل بار ترافیکی در اتصالات نود بحرانی رخ می دهد.
۳. تاخیری که اتفاق می افتد زمانی که با ترافیکهای انفجاری (حاصل بروز رویدادها) سر و کار داریم

مشخص شده است که تاخیر به ۳ دلیل زیر رخ می دهد:

۱. در برنامه ریزی خواب/بیدار، نیاز بیداری نودها بر اساس موقعیتشان با توجه به نود سینک^۲ در نظر گرفته می شود و برای مثال گره های نزدیک به نود پایه یا نود اصلی، باید دوره بیشتر بیدار بمانند تا بتوانند وظیفه انتقال داده را به نود پایه انجام دهند.

۲. نودهایی که دارای ارسال/دریافت در شبکه یکسانند ، همان بیداری را دارند . اگرچه ، واژه بیداری برای

نودهای متفاوت با بار ترافیکی بسمت جلو متفاوت می باشد ؛ گره های مختلف با توجه به اهمیت تلوژیهایشان اتصال را برقرار می کنند . برای مثال نودی که نود راس^۱ می باشد و دو مسیر از شبکه را اتصال دارد ، از آن انتظار می رود بار ترافیکی بیشتری را در مقایسه با یک نود عادی مدیریت نماید .

۳. زمان بندی خواب بمنظور حل و فصل انفجار ترافیکی که در اثر بروز یک رویداد رخ میدهد، تطبیقی نیست .

زمانیکه یک رویداد رخ می دهد ، بطور طبیعی فاصله بیداری نود و هسایه هایش همان باقی می ماند . از آنجاییکه در وقوع رویداد ، نود انتظار ندارد تا بار ترافیکی بیشتر را دریافت کند .

❖ نکته : در این گزارش به این چالشها پرداخته شده و تاخیر را در سطوح مطرح شده با کاهش تاخیر و شاخصهای زمان بندی خواب/بیدار به بررسی و ارزیابی پردازد .

۲-۳ راه حل پیشنهادی

بمنظور کاهش تاخیر ، یک راهکاری که وجود دارد اینستکه زمان بیداری نودها را ماکزیمم کنیم در یک دوره زمان بندی برای سه سطحی که در بالا ذکر گردید . در ادامه بیان می شود که این مشکل چگونه مطرح گردید .

➤ ابتدا ، در یک معماری شبکه حسگر بیسیم^۲ عادی ، همه نودها دیتاهای خود را به نود سینک ارسال می کنند و اینکار را از طریق نودهای نزدیک نود سینک^۳ که بیشترین ترافیک را بدوش می کشند انجام می گیرد . زمان بندی خواب/بیدار صرفنظر از این حقیقت که بیشتر بسته داده ارسال از طریق نودهای نزدیک به نود سینک می رود که نتیجه اینکار عملکرد نامطلوب است . این گزارش پیشنهاد آن را دارد که تاخیر را با در نظر گرفتن واقعیت که نیاز به ارتباط در نودها بر اساس مسافت و فاصله های قرار گیری آنها از نودسینک متفاوت می باشد ، به حداقل برسانیم و

Vertex Node^۱
WSN Architecture^۲
Sink Node^۳

این خود در زمان بندی خواب/بیدار بطرز مستقیم تاثیر بسزایی دارد . پس بعبارتی باید نودهایی که به نود سینک نزدیکترند پس برای همین باید میزان زمان بیدار آنها نسبت به بقیه بیشتر باشد و همچنین باید آنهایی که از نود سینک دورتر قرار گرفته اند میزان خواب آنها بیشتر باشد . پس نتیجتا ، دوره زمانی بیداری نودها با توجه به مسئولیت و ارتباط با نود سینک بیشتر می گردد که با اینکار تاخیرات مازاد رسیدگی و حل و فصل می گردد.

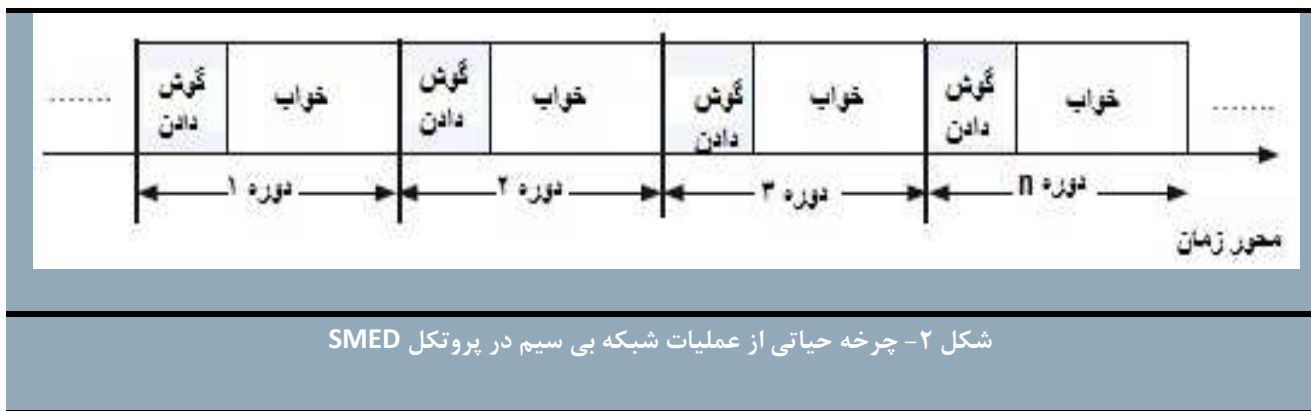
➤ ثانيا ، بدلیل الگوی ارتباط چند پرشی^۱ ، نقش نود در مسیریابی مهم می باشد . بر اساس توپولوژی نودهای مختلف دارای اهمیت متفاوت در شبکه می باشد . برای مثال ، یک سناریو اینکه تنها یک نود وجود دارد که بعنوان پل ارتباطی بین دو بخش مختلف از شبکه فعالیت دارد و همه ترافیک شبکه را از بخشی از شبکه بسمت جلو می برد (به مکان نود سینک بستگی دارد) . بنابراین ، تاخیر به حداقل می رسد با اختصاص زمان بندی خواب/بیدار به نودها با توجه به بار ترافیکی که توسط اهمیت نودها در اتصالات تعیین و مشخص می گردد .

قرار دادن یک فاصله بیداری بیشتر به نودهایی که دارای بار بیشتر هستند (نودهای بحرانی اتصالات) تا اطمینان کسب گردد که این نودها در زمان نیاز در دسترس هستند و همینطور قرار دادن یک فاصله بیداری کمتر به نودهایی که دارای بار کمتر و سبکتر هستند (نودهای بحرانی اتصالات کمتر) تا آنها انرژی خود را ذخیره کنند.

➤ ثالثا ، زمانیکه یک رویدادی در هر منطقه خاص از شبکه سنسور بیسیم رخ می دهد ، چرخه های خواب/بیدار عمومی نودها ، صرفنظر از فرکانس تشخیص رویداد همچنان باقی می ماند . آن نود خودش را بر اساس فرکانس و محل رویداد ، در شرایط تغییر فاصله زمانی خواب/بیدارشان منطبق نمی کند .

برای این مشکل ایده های ساده از وابستگی زمانی و مکانی استفاده می شود . وابستگی زمانی در این زمینه اشاره دارد به اینکه زمانیکه یک رویدادی در ناحیه حسگری نود در هر اسلات زمانی ، رخ می دهد ، آن احتمال دارد که در اسلاتهای بعدی رخ دهد . بنابراین اگر نودها منطبق شوند و چرخه خواب خود را تغییر دهند ، آن می تواند تاخیر را کاهش دهد .

شبهاتنا وابستگی مکانی اشاره به این حقیقت دارد که ، اگر وقوع یک رویداد توسط سنسور نود گزارش شود ، احتمال دارد که این رویداد در نودهای همسایه رخ داده باشد . بنابراین ، نودهای در همسایگی آن نود باید منطبق با انفجار ترافیکی باشند و چرخه خوابشان را تغییر دهند . بنابراین ، بر اساس وابستگی زمانی ، فاصله بیداری نودها در زمانیکه رویدادی رخ می دهد به نسبت وابستگی مکانی افزایش می یابد ؛ فاصله بیداری از همسایه ها در اسلاتهای زمانی بعدی افزایش می یابد . این اقدامات می تواند بطور قابل توجهی تاخیر را کاهش دهد .



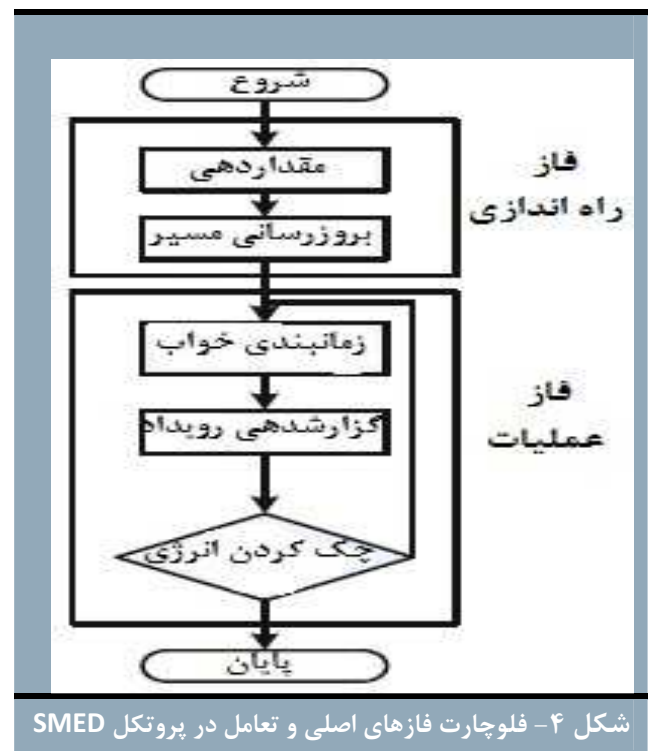
۳-۳ تشریح پروتکل پیشنهادی

در این گزارش ، الگوریتم زمان بندی خواب ، برای شبکه های حسگر مبتنی بر رویداد پیشنهاد می گردد ، برای سیستمهای حساس به تاخیر که در آن رویداد بسیار اندک رخ می دهد .
 پروتکل شامل دو بخش اصلی می باشد که عبارتند از :

۱. فاز راه اندازی^۱
۲. فاز عملیات^۲

^۱ The Setup Phase
^۲ The Operation Phase

که این دو فاز را در شکل ۲ نشان میدهد. این فازها که بیشتر خود به زیرمرحله‌هایی تقسیم می‌گردند در شکل ۳ نمایش می‌یابند؛ فلوجارت و تعامل بین فازهای مختلف در شکل شماره ۴ همراه با جزئیات نمایش داده شده است، که در ادامه به بحث راجع به فازهای فوق می‌پردازد.



این فاز به دوبرخشی تقسیم می گردد: فاز مقداردهی و بروزرسانی مسیر.

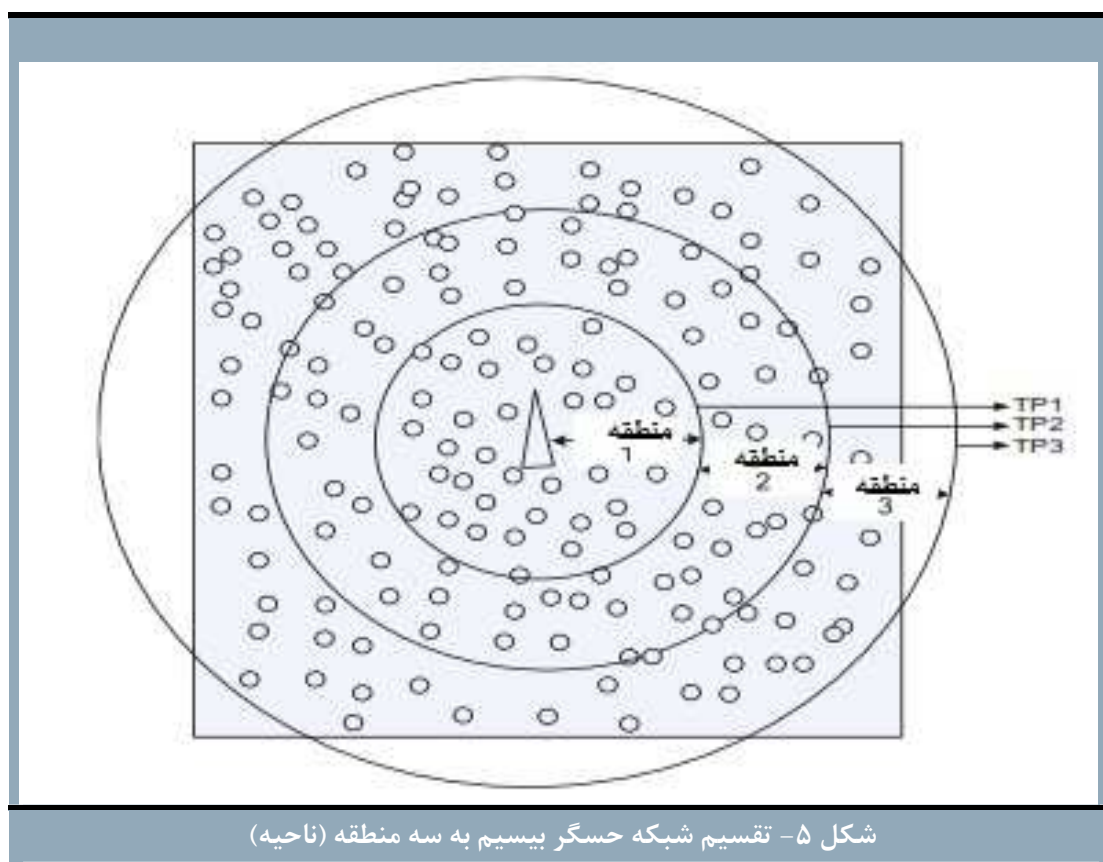
۱. فاز مقداردهی:

هر گره سطح انرژی و موقعیت خود را در شبکه محاسبه می کند؛ این اطلاعات در زمان بندی خواب/بیدار، بروز رسانی مسیر و گزارشات رویدادی بکار می رود؛ علاوه بر این، نود سینک شبکه را به بخشهای مختلف تقسیم می کنند. نود سینک برای ارسال پیغامها در شبکه از سه سطح انرژی مختلف بکار می برد (TP) که $TP1 < TP2 < TP3$ و در آن یعنی TP1 بعنوان ناحیه اول تعریف می شود، TP2 ناحیه دوم و TP3 بعنوان ناحیه سوم، همانگونه که در شکل ۵ نمایش داده شده است.

نود سینک ابتدا یک پیغام بیکن^۱ را با سطح انرژی TP1 در محیط می فرستد، نود دریافت کننده این پیام بعنوان نود قرار گرفته در منطقه یا ناحیه اول ثبت می گردد و نود به حالت خواب می رود. این بار نود سینک دوباره یک پیغام کنترلی با سطح انرژی TP2 در محیط منتشر می کند، از آنجاییکه نودهایی که در ناحیه اول قبلا مشخص شده اند در وضعیت خواب می باشند، بنابراین آنها این پیام را دریافت نخواهند کرد. همه دیگر نودهایی که این پیغام را دریافت نمایند، بعنوان نودهای ناحیه دوم ثبت شده و به وضعیت خواب می روند. بهمین ترتیب نودهایی که در ناحیه سوم قرار گرفته اند پیغام با سطح انرژی TP3 دریافت کرده و خود را در این منطقه به ثبت می رسانند.

اطلاعات منطقه ها توسط نودها باقی می ماند ، هر نود ، پیغام کنترلی ارسال می کند تا اطلاعات اولین همسایه پرش^۱ ، را نگهداری نماید . لذا چون هر نود اطلاعات همسایه خود را دارد ، آن مشخص می نماید که این اتصال نود بحرانی می باشد یا خیر ، برای محاسبه آن ، بخشی از متد راس^۲ را استفاده می کند و در مرجع [34] وجود دارد.

اساس این محاسبه بر اینکه آن بعنوان یک نود بحرانی علامتگذاری شده است و در غیر اینصورت آن نود بعنوان یک نود عادی یا نرمال میباشد .



۲. فاز بروزرسانی مسیر

در این فاز نود سینک ، یک پیغام کشف مسیر را با تعداد پرش^۳ برابر مقدار صفر را در کل شبکه پخش می کند . سپس یک نود که تعداد پرش را از طریق پیغام انتشار یافته دریافت کرد ، تعداد پرش خود را بروزرسانی می کند و مقدار تعداد

Hop^۱
Vertex^۲
Count Hop^۳

پرش خود را به مقدار جدید تغییر می دهد بشرط اینکه مقدار دریافتی از مقدار قبلی ثبت شده در نود کمتر باشد والا در نود همان مقدار قبلی باقی می ماند . قبل از ارسال پیغام کشف مسیر ، هر نود تعداد پرش را افزایش می دهد و سپس پیغام را در برد مخابراتی انتشار می دهد .

در این روش ، در هر نود کمترین فاصله یا مسیر خود را مشخص می کند. پس نتیجه ای که می توان گرفت اینکه هر نود ، کمترین تعداد پرش خود را به نود سینک اعلام و در آن ثبت می گردد .

۲-۳-۳. فاز عملیات

در این فاز خود به دو فاز زیر تقسیم می گردد :

۱. فاز زمان بندی خواب/بیدار

۲. فاز گزارش گیری رویدادها

۱. فاز زمان بندی خواب/بیدار

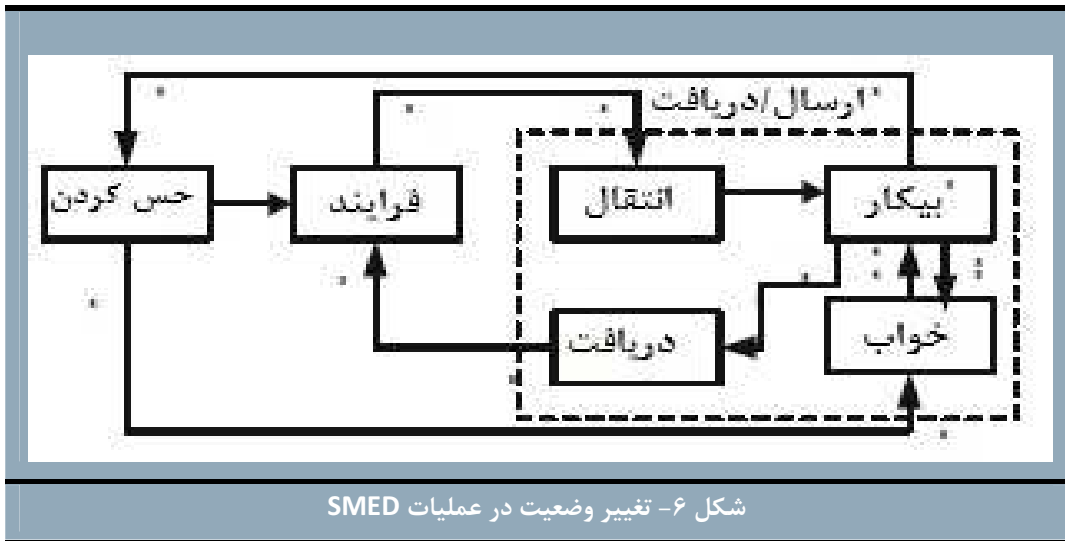
در این فاز زمان بندی خواب/بیدار بر اساس بار ترافیکی انجام می پذیرد . بار ترافیکی نودها بر اساس پارامترهای زیر متفاوت است :

۱. نواحی قرار گرفتن نودها

۲. اهمیت اتصال نودها

۳. مجاورت با رخ دادن رویداد

لذا بر اساس این فاکتورها ، هر نود الگوی خواب/بیداریش تعیین و بر اساس آن تطبیق سوییچ بین وضعیت خواب و بیدار را مشخص می دارد (در شکل شماره ۶ نشان داده شده است) .



در این چرخه خواب/بیدار، نود در دوره زمانی تنظیم شده بیدار می شود و منتظر ماند تا رویدادی رخ دهد، محیط را اسکن می کند و داده ها را دریافت می نماید.

الگوریتم مشخص می کند بر اساس مناطق ۱، ۲ و ۳ سه نوع دوره بیداری متفاوت را (WT)، که عبارتند از: WT1،

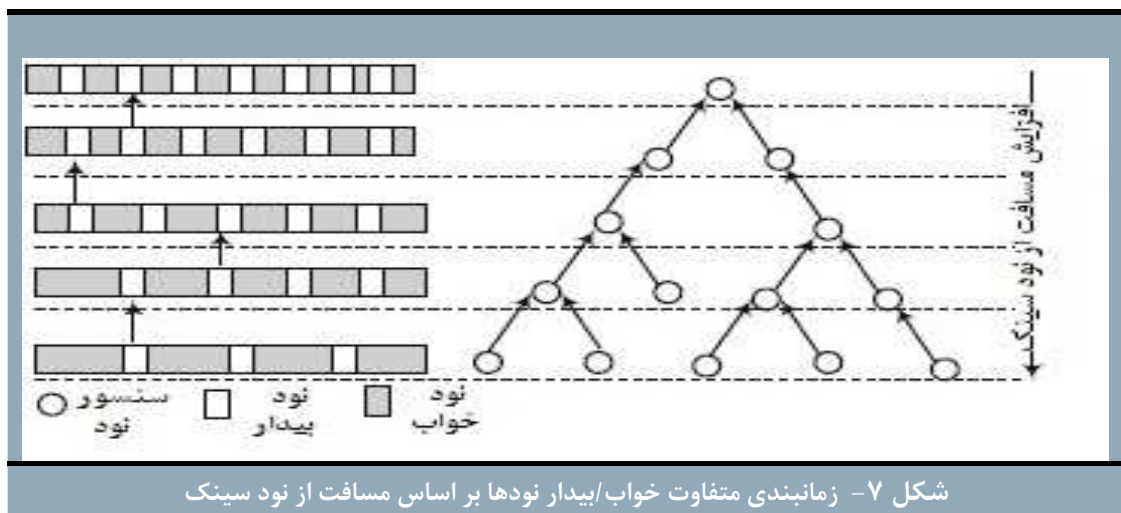
WT2 و WT3 که دارای شرط فوق می باشند. $WT3 > WT2 > WT1$

دوره بیداری از نودها با فاصله هر نود از نود سینک نسبت معکوس دارد. یا عبارتی هر چه فاصله نودها از نود سینک

بیشتر می شود میزان دوره بیداری نودها کمتر می گردد و بالعکس (همانگونه که در شکل شماره ۷ نشان داده شده است

) . بنوعی این دوره های بیداری با میزان بار ترافیکی نودها نسبت مستقیم دارد؛ این بدان دلیل است که نودهای نزدیک

به نود سینک بیشترین ارتباط و بار ترافیکی را با نود سینک دارند. (در شکل شماره ۸ نمایش داده شده است)





اگر چه برای نودهای با وضعیت اتصال بحرانی ، زمان بیداری بیشتری اختصاص داده می شود تا مشکلات بار ترافیکی خود را سامان دهد .

۲. فاز گزارش گیری رویدادها

فاز گزارش گیری رویدادها ، مسئولیت حرکت داده بسمت نودسینک در موقع رخداد رویدادی را برعهده دارد . در این فاز ، داده ها از سنسور نودها جمع آوری و به نود سینک هدایت می شوند. زمانی که در مجاورت نودی رویدادی رخ می دهد ، آن نود فاصله زمانی بیداری خود را برای اسلاتهای زمانی بعدی افزایش می دهد . بنابراین ، آن پیامی برای نودهای همسایه ارسال می کند تا فاصله زمانی بیداریشان را بیشتر کنند و بدین طریق بتوانند ترافیکهای غیرمنتظره را پوشش دهند .

❖ این بیانگر این حقیقت است که زمانیکه یک رویدادی در نودی رخ می دهد ، این احتمال از وقوع یک رویدادی در نود برای آینده وجود دارد (وابستگی گرمایی) .

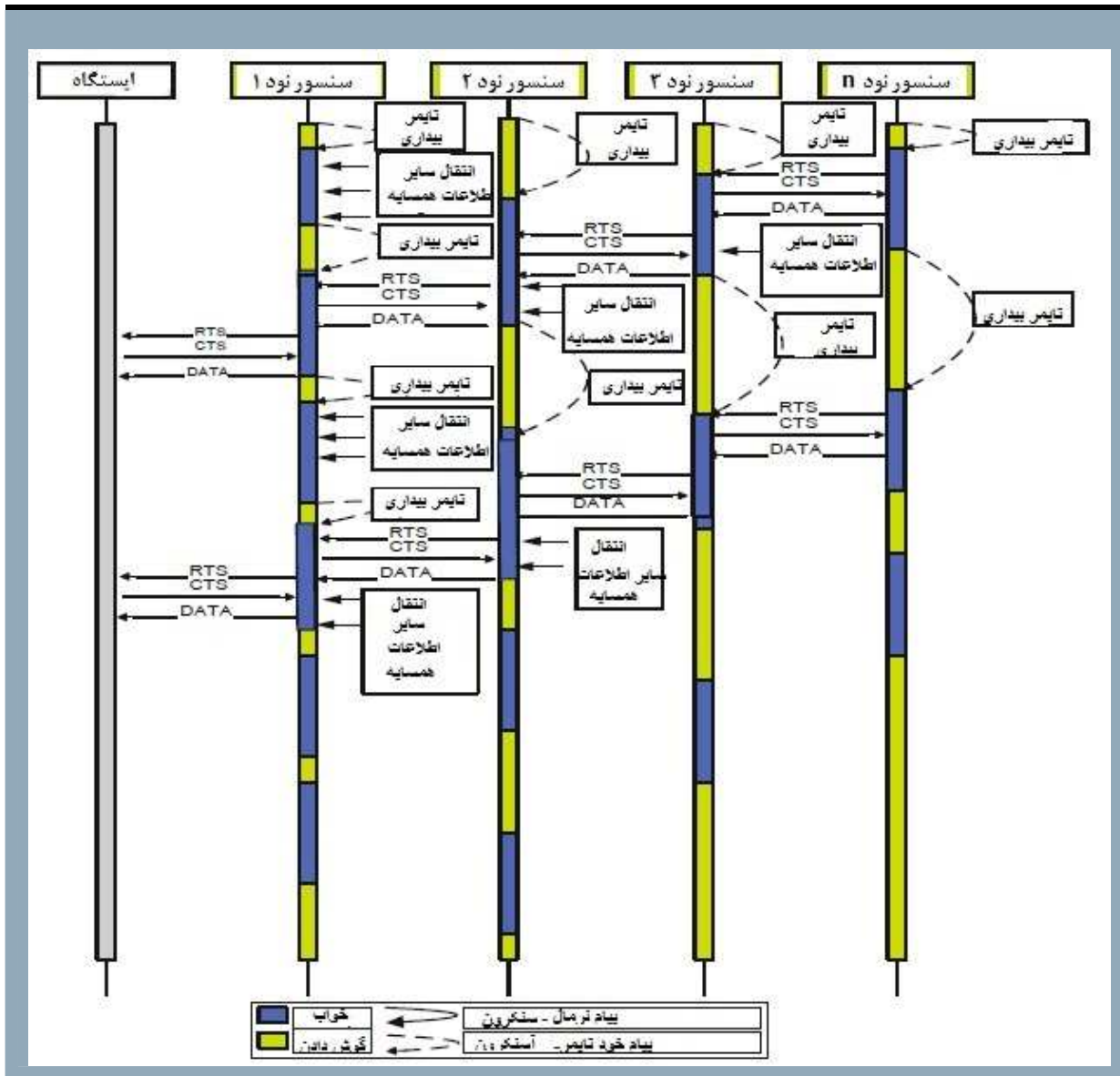
❖ نکته : اگر یک رویدادی در یک نود رخ دهد ، احتمال وقوع یک رخداد در نودهای همسایه وجود دارد (وابستگی مکانی)

با توجه به نکات بالا انتظار ترافیک انفجاری را میتوان نتیجه گرفت . بنابراین ، فاصله بیداری نودها در زمانیکه یک

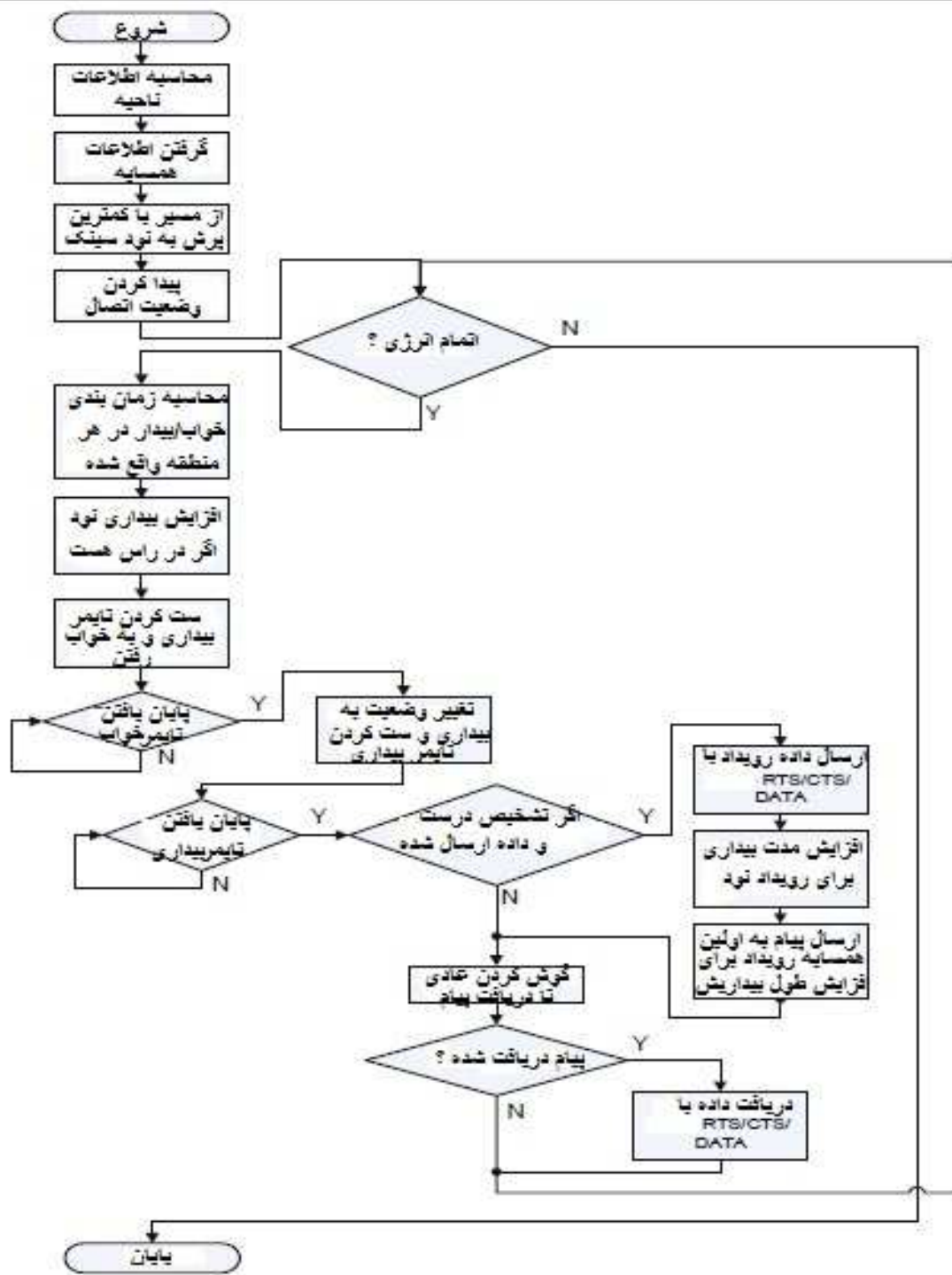
رویدادی رخ می دهد و یک نود از همسایه هایش افزایش می یابد ؛ و این دلیلی برای کاهش تاخیر و حل و فصل در

زمان بروز ترافیکهای انفجاری می باشد. (همانگونه که در شکل شماره ۹ نشان داده شده است)

بطور خلاصه ، فلوجارتی از طرح به حداقل رساندن تاخیر نقطه به نقطه^۱ در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است .



شکل ۹- یک دیاگرام رویداد برای تاثیر متقابل بین سنسور نود و ایستگاه در مدت شبیه سازی



شکل ۱۰- جزئیات فلوچارت از پروتکل SMED

بر اساس مدل سیستمهای توسعه یافته ، شبیه سازی با بکار بردن OMNET++ [۲۲] انجام می شود تا کارایی پروتکل پیشنهادی SMED را بررسی نماید . کارایی پروتکل پیشنهادی با دو پروتکل هم ارز زیر مقایسه می شود : پروتکل S-MAC [17] و پروتکل Anycast[33] .

در زیر جزئیاتی از راه اندازی شبیه سازی ، مدل انرژی و بررسی نتایج می پردازد .

۴-۱ راه اندازی شبیه سازی

شبیه سازی در منطقه ای به وسعت $200 * 200$ مترمربع برای حس کردن انجام می شود و تعداد سنسور نودهای بکار رفته برای آزمایش متفاوت از 20 تا 260 بسته به نوع آزمایش فرق می کند . سنسور نودها بصورت تصادفی پخش می شوند و پخش تصادفی با انتخاب محلهای (X,Y) مبتنی بر توزیع یکنواخت انجام می پذیرد .

نود سینک مکانش ثابت و در مرکز شبکه قرار دارد . شبیه سازی با رنج مختبراتی معادل با دو برابر رنج حسگری انجام می گردد . پارامترهای شبیه سازی منطبق بر استفاده در FlexiTP [۸] می باشد که آن بر اساس سخت افزار Mica2Mote قرار دارد . در جدول شماره ۱ لیستی از پارامترهای شبیه سازی را ملاحظه می کنید .

اندازه	پارامتر شبیه سازی
200 × 200 m2	ناحیه حسگری
38.4 Kbps	پهنای باند
50 m	رنج انتقال
60 mW	مد انرژی ارسال
30 mW	مد انرژی دریافت
30 mW	مد انرژی بیکار
0.003 mW	مد انرژی خواب
30 mW	انرژی انتقال
2.45 ms	زمان انتقال
96 bytes	سایز بسته
42 ms	سایز اسلات زمانی
300 s	زمان شبیه سازی

جدول ۱- پارامترهای شبیه سازی شده برای پروتکل SMED

۴-۲ خلاصه رویدادها

خلاصه ای از رویدادهای اصلی بکار رفته در پروتکل SMED در جدول شماره ۲ نشان داده شده است .

ردیف	رویداد	شرح رویداد
۱	Initialization()	این رویداد در زمان شروع اجرا می شود ، هنگامیکه نود مقداردهی اولیه می گردد . آن شامل مقداردهی اولیه پارامترهای نود ، برخی از آنها شامل شماره نود ^۱ ، انرژی باقی مانده اولیه ، محل تصادفی مختصات و سایر .
۲	SN_W	این رویداد فعال شده زمانیکه تایمر خود نود منقضی می گردد . سنسور نود سپس وضعیت خود را خواب به بیداری تغییر می دهد .
۳	SN_S	این رویداد زمانی رخ می دهد که یک نود ارسال/دریافت داده را پایان می دهد یا تایمر خودش منقضی می گردد . سنسور نود سپس وضعیت خود را از حالت بیدار به خواب تغییر می دهد .
۴	E_DETECT	این زمانی فعال می شود که یک نود هر رویدادی را حس کند . این یک خود پیام است .
۵	SEND_MSG	این رویداد زمانی فعال است که یک نود خود پیام رویداد E_DETECT را دریافت کند . آن شامل ارسال داده به پرش بعدی همسایه با استفاده از RTS/CTS/DATA
۶	RECEIVE_MSG	این رویداد فعال می گردد زمانیکه یک نود هر پیامی از RTS/CTS/DATA دریافت کند . آن شامل پایه ریزی کردن ارتباط بین نود فرستنده و گیرنده داده با استفاده از RTS/CTS/DATA
۷	End Timer	یک رویداد اجرا می گردد زمانیکه تایمر انتظار منقضی می گردد . آن می تواند در تکمیل هر یک از تشخیص رویدادها چه تایمر بیدار و یا خواب باشد .

جدول ۲- خلاصه رویدادها برای پروتکل SMED

۳-۴ مدل انرژی

فرض بر اینستکه نودهای حسگر دارای قابلیت و توانایی تنظیم میزان انرژی انتقال خود را دارد و آنرا بر اساس مسافتی از نود گیرنده انجام می دهد . مدل انرژی در [۱۰] با آن انطباق دارد . انرژی مصرف شده برای انتقال ETX از یک پیام 1 بیتی روی یک مسافت بصورت زیر محاسبه می شود :

^۱ NodeID

$$E_{Tx} = \begin{cases} l \cdot E_{elect} + l \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2 & \text{for } 0 \leq d \leq d_{crossover} \\ l \cdot E_{elect} + l \cdot \epsilon_{mp} \cdot d^4 & \text{for } 0 \geq d_{crossover} \end{cases} \quad (1)$$

- E_{elect} = میزان انرژی مصرف شده در قطعات الکترونیکی
- ϵ_{fs} = مقدار ثابت برای انتشار فضای آزاد یا عبارتی انرژی مصرف شده در یک آمپلی فایر زمانیکه انتقال را در مسافتهای کوتاه برعهده دارد .
- ϵ_{mp} و $d_{crossover}$ = مقدار ثابت برای انتشار چند مسیره و آمپلی فایر انرژی مصرفیست در یک آمپلی فایر زمانیکه انتقال در مسافتی بزرگتر از $d_{crossover}$ باشد.
- d = میزان مسافت که به مسیر بستگی دارد .
- انرژی مصرفی در دریافت پیام ۱_بیتی عبارتست از :

$$E_{Rx} = l \cdot E_{elect} \quad (2)$$

نکته : کل انرژی مصرف شده عبارتند از :

$$E_{Radio} = E_{Tx} + E_{Rx} \quad (3)$$

۴-۴ نتایج و بررسی ها

کارایی پروتکل SMED در مقابل پروتکلهای Anycast و SMAC مقایسه می شود . برای اندازه گیری کارایی از پارامترهای

تجربی زیر استفاده می شود :

۱. میانگین تاخیر هر بسته

۲. انرژی هر بسته

۳. میانگین بسته های گم شده

۴-۴-۱ میانگین تاخیر هر بسته^۱

تأخیر در اینجا بدین مفهوم که برابر زمانی که بین بسته ارسالی از یک سنسور نود و همان بسته دریافت شده در نود سینک می باشد. مقدار تأخیر با تغییر تعداد سنسور نودها از ۲۰ به ۲۶۰ اندازه گیری می شود. همانگونه که در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است، میانگین تأخیر تجربه شده توسط پروتکل پیشنهادی SMED به میزان حداقل می باشد، که در این مقایسه Anycast دوم بوده و پروتکل SMAC بدترین زمان تأخیر را دارد. در پروتکل SMED، نودها دارای فواصل بیداری متفاوت می باشند و آن بر اساس شرایط ترافیکی آنها با توجه به موقعیتشان در شبکه، اهمیت توپولوژیک آنها و مجاورت رویداد لحاظ می شود.

❖ نکته: پروتکل پیشنهادی SMED امکان به حداقل رساندن تأخیر را در هر پرش^۲ دارد زیرا نودها برای فاصله بیداری حاصل از پرش بعدی، صبر طولانی ندارند. پس نتیجتاً، میانگین تأخیر هر بسته در SMED کمتر از پروتکل Anycast و S-MAC می باشد.

در پروتکل Anycast، اگر چه نود دارای چندین پرش بعدی^۳ هست که آن رله کننده طرح ارسال بسته بسمت جلوی^۴ پروتکل می باشد، که کمک کننده در روشی سریع برای پیدا کردن همسایه پرش بعدی می باشد. و این نکته را هم باید در توجه کرد که هنوز آن الزامات ترافیکی نودهای مختلف را در نظر نگرفته است. بنابراین، زمان انتظار نود افزایش می یابد هر موقع که بسته به نودهای نزدیک به نود سینک رسیده باشد. پس این پروتکل دارای میزان تأخیر بیشتر از پروتکل پیشنهادی می باشد.

^۱ Average Delay Per Packet
^۲ Hop
^۳ Next-Hop
^۴ Packet Forwarding

در پروتکل S-MAC ، نودها دارای فاصله بیداری ثابتی برای کل شبکه ، بدون در نظر گرفتن الزامات ترافیکشان

هستند . بنابراین ، هر نود منتظر برای فاصله بیداری از پرش بعدی می باشد . اگرچه همه نودها می توانند داده هایشان را از

هر راهی به نودسنگ با استفاده از ارتباطات چند پرشی^۱ برسانند . ازاینرو ، آن شامل تعدادی نود رله برای رسیدن به نود

سینک می باشد ، که این خود باعث افزایش تاخیر نقطه به نقطه می باشد . با توجه به ترافیک محلی در هر نود ، داده های

حس شده برای برخی اوقات در هر نود باید منتظر تا مجوز وارد شدن را دریافت دارند ، بنابراین تاخیر در زمانیکه بسته ها به

نودهای نزدیک به نود سینک می رسند بسیار بیشتر می گردد . این مشکلات زمانیکه بسته ها به نودهای نزدیک به نود

سینک رسیده اند جزء بدترین مشکلات می باشد ، با توجه به این مطلب که بسته ها بیشترین تاخیر را با خود همراه دارند. آن

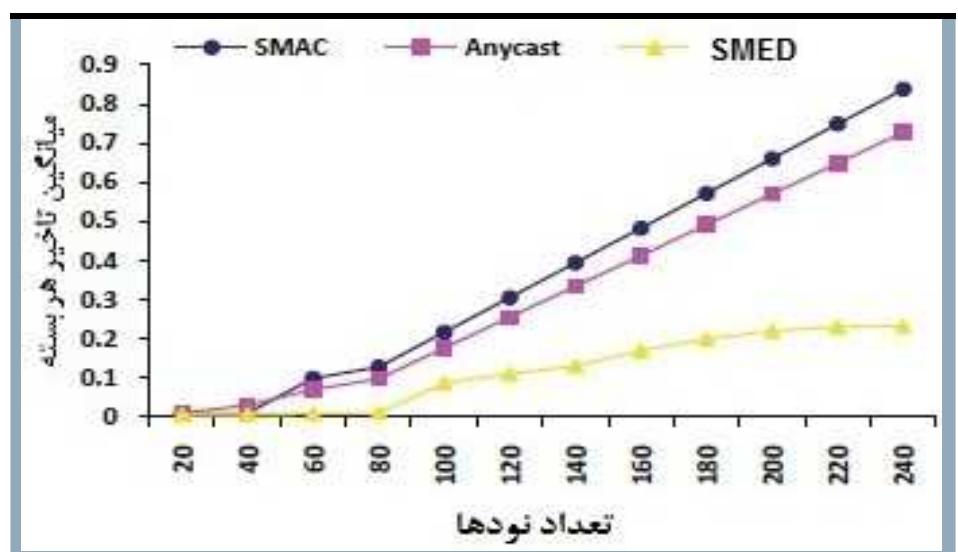
باعث می شود تا پروتکل Anycast و S-MAC مستعد در ابتلا به تاخیرهای طولانی گردند .

علاوه بر این ، هر چه تعداد نودها افزایش می یابد ، SMED بوضوح برتری خود را بر دو استراتژی دیگر نشان می دهد . برای

پروتکل SMED ، کارایی همچنان حفظ می گردد با افزایش تعداد نودها ، از آنجاییکه فاصله بیداری نسبت مستقیمی با بار

ترافیکی دارد ، هر اندازه هم که اندازه شبکه باشد . در این راه ، افزایش تعداد نودها هیچ تاثیری بر روی SMED ندارد .

❖ نتیجه گیری : این پروتکل بسیار مقیاس پذیرتر از پروتکل Anycast و S-MAC می باشد .



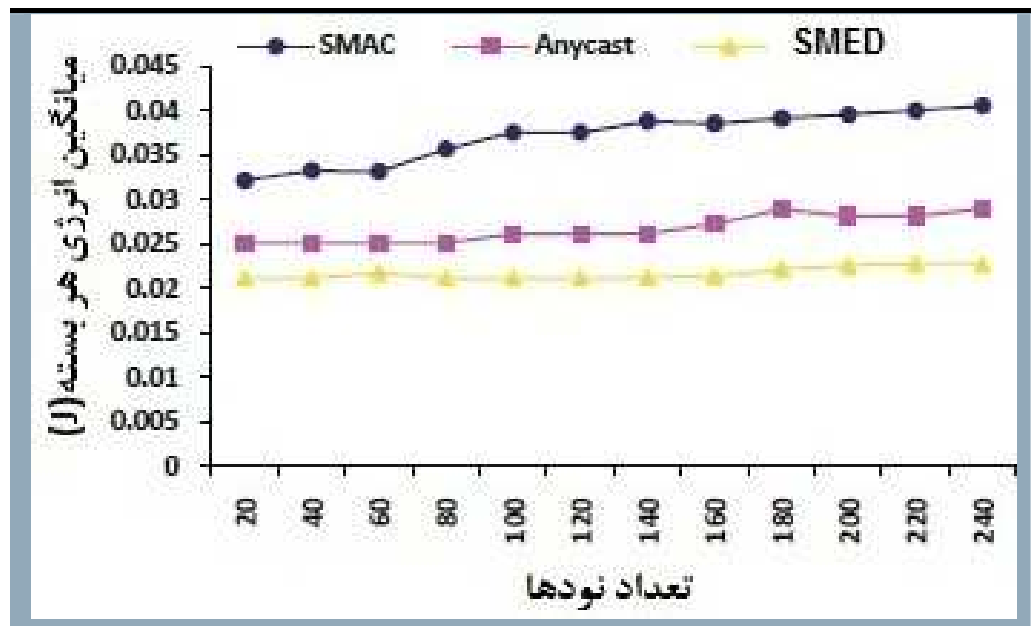
شکل ۱۱- میانگین تاخیر هر بسته برای تعداد مختلفی از سنسور نودها

میانگین انرژی هر بسته ، یک اندازه گیری از انرژی صرف شده برای حرکت یک بسته بسمت نود سینک می باشد . آن بعنوان یک شاخص طول عمر محسوب می گردد که از پروتکلها بدست می آید .

همانگونه که در شکل شماره ۱۲ نشان داده شده است ، میانگین انرژی هر بسته در محور Yها رسم و تعداد سنسور نودها در محور Xها رسم شده است . در این شکل می توان مشاهده کرد که میانگین انرژی مصرف شده در هر بسته در پروتکل پیشنهادی SMED بسیار کمتر از پروتکل Anycast و S-MAC است و شاخصهای حکایت از افزایش طول عمر شبکه دارد .
دلیلی برای افزایش طول عمر شبکه در پروتکل SMED میتوان به این حقیقت نسبت داد که آن فاصله بیداری را بر اساس بار ترافیکی تنظیم می کند . با انجام اینکار ، پروتکل SMED از وضعیتی که نود در حالت بیدار باقی بماند و بیکار باشد ، اجتناب می کند .

در پروتکل Anycast تعدادی نود به ارائه مسیرهای جایگزین برای مسیرهای اقامت می پردازند و اغلب آنها بیکارند ، پس انتظار می رود ترافیک نودها باقی بمانند در حالیکه برنامه زمان بندی خواب/بیدار برایشان در نظر گرفته شده است . در مجموع اینکار باعث افزایش نودهای بیدار در وضعیت بیکار می گردد ، که خود آن در کاهش طول عمر شبکه موثر می باشد .
به همین ترتیب در پروتکل S-MAC که زمان بندی خواب/بیدار تصادفی برای همه نودها تعریف شده است که آن باعث افزایش تعداد نودهای بیدار که بیکار هستند ، میگردد ؛ به خصوص در مسیر حرکت برعکس از نود سینک مشاهده می گردد . نودهای دور افتاده از نود سینک میزان رله بسیار کمتری دارند . نهایتاً ، آن انرژی نودها را برای گوش دادن در وضعیت بیکار استفاده می کند و باعث کاهش طول عمر شبکه می گردد .

❖ نتیجه گیری : از اینرو پروتکل پیشنهادی انرژی در بسته کمتری از هر دو پروتکل Anycast و S-MAC دارد.



شکل ۱۲- میانگین انرژی هر بسته برای تعداد مختلفی از سنسور نودها

۳-۴-۴ نرخ از دست دادن بسته^۱

نرخ از دست دادن بسته اشاره دارد به درصدی از بسته هایی که به نود سینک نمی رسند . نسبت آن عبارتست از :

$$\text{Packet loss ratio} = \frac{\text{Total number packets not received at the BS}}{\text{Total number packets send by all the sensor nodes}} \quad (4)$$

یا عبارتی نرخ از دست دادن بسته ها برابر است با (کل بسته هایی که به نود سینک نرسیده اند) تقسیم بر (کل بسته های

ارسال شده توسط همه سنسور نودها).

در شکل شماره ۱۳ میزان نرخ از دست دادن بسته ها را برای هر سه پروتکل با تعداد سنسور نود ۲۰ تا ۲۴۰ نشان داده شده

است . در صورتیکه تعداد نودها افزایش پیدا کند ، نرخ از دست دادن بسته ها در همه پروتکلها افزایش می یابد اما دامنه

افزایش در پروتکلها متفاوت است ؛ عبارتی نرخ از دست دادن بسته ها در پروتکل پیشنهادی با کمترین نرخ افزایش می یابد

زیرا آن در نظر دارد الگوهای ترافیکی از نودهای مختلف و بر اساس فواصل بیداری که منطبق شده است ، که نتیجه آن از

دست دادت بسته کمتری هست .

در پروتکل S-MAC نرخ از دست دادن بسته ها به نسبت افزایش سرعت رشد می کند زیرا آن از زمان بندی

خواب/بیدار تصادفی استفاده می کند ، که زمان بندی ناموفق افزایش یافته و طبیعتاً نرخ از دست دادن بسته ها افزایش خواهد یافت .

آن در شکل شماره ۱۳ مشخص است که در تمام شبیه سازی ، SMED در مقایسه با پروتکل Anycast و

S-MAC دارای نرخ از دست دادن بسته کمتری می باشد . چرا که در پروتکل های Anycast و S-MAC هیچ مکانیسم کنترل

ازدحامی برای اطمینان از سازگاری فواصل بیداری وجود ندارد ، بنابراین نسبت تعداد ازدحام به از دست دادن بالاتر می باشد

. آن باعث می شود پروتکل های Anycast و S-MAC بیشتر در معرض از دست دادن بسته باشند که این خود قابلیت اطمینان

در انتقال را کاهش می دهد .

در پروتکل SMED ، نودها دارای فواصل بیداری تطبیقی بر اساس میزان بار ترافیکی می باشند ، بنابراین ترافیک از طریق

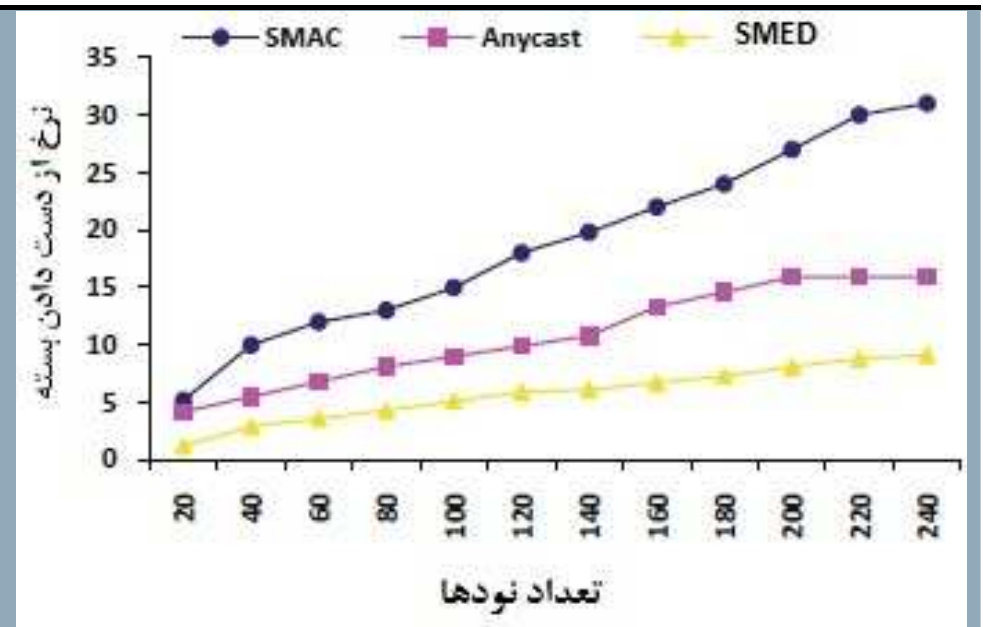
شبکه هموار ، جریان می یابد . علاوه بر این ، در SMED نودهای بحرانی دارای فواصل بیداری بیشتری هستند که نتیجه آن

کاهش از دست دادن بسته ها را شامل می گردد . نود تشخیص دهنده رویداد و نودها در مجاورت آن دارای بیشترین فواصل

بیداری هستند ، که در به حداقل رساندن از دست دادن بسته ها دخیل می باشد . از اینرو ، SMED در مقایسه با دو پروتکل

دیگر کمتر در معرض از دست دادن بسته می باشد .

❖ نتیجه گیری : پروتکل SMED عملکرد بهتری نسبت به دو پروتکل دیگر در از دست دادن بسته ها دارد .

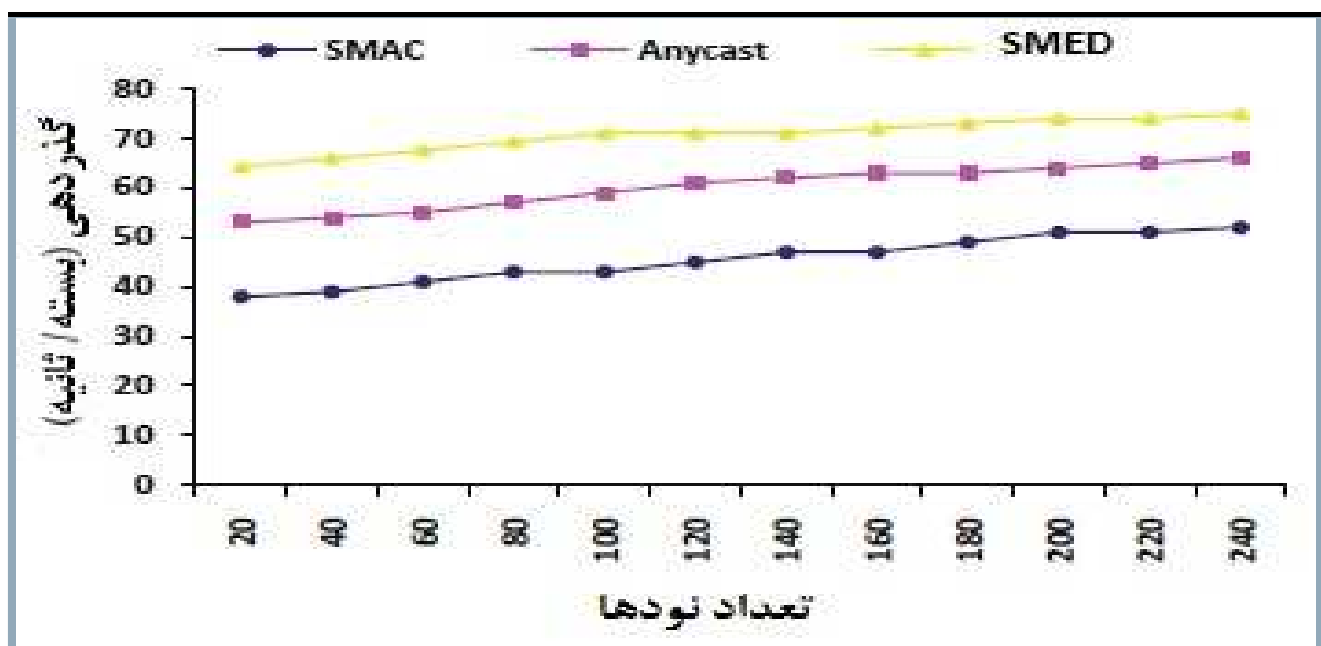


شکل ۱۳- نرخ از دست دادن بسته ها برای تعداد مختلفی از سنسور نودها

۴-۴-۴ گذردهی^۱ (بسته ها بر ثانیه)

گذردهی توسط تعداد بسته های دریافت شده در ثانیه در نود سینک ، اندازه گیری می شود . در این شبیه سازی ، تعداد نودها از بین ۲۰ تا ۲۶۰ عدد متغیرند و گذردهی در نود سینک اندازه گیری می شود . آن در شکل شماره ۱۴ دیده می شود که با افزایش سنسور نودها ، گذردهی برای SMED ، S-MAC و Anycast افزایش می یابد . هر چه سایز شبکه بزرگتر گردد ، SMED گذردهی بیشتری را در مقایسه با دو پروتکل دیگر کسب می کند . آن نشان می دهد که پروتکل SMED مقیاس پذیر است و عملکرد بهتری در قبال افزایش سایز شبکه های حسگر بی سیم پیدا می کند .

❖ نتیجه گیری : SMED بهترین گذردهی را دارد ، S-MAC از نظر گذردهی دوم و پروتکل Anycast کمترین می باشد .



شکل ۱۴- گذردهی (بسته ها بر ثانیه) برای تعداد مختلفی از سنسور نودها

۵-۴-۴ طول عمر پوشش^۱

طول عمر پوشش اشاره دارد به مدت زمانی که شبکه قادر است پوشش ۱۰۰٪ یا بالاتر از ۹۰٪ از کل نواحی حسگری را حفظ نماید. بعنوان یک کلیت، پوشش کمتر از این درصدها قابل تحمل نیست و می تواند شکست محسوب گردد.

در این آزمایش، تعداد نودها بین ۲۰ تا ۲۵۰ متفاوتند، و طول عمر پوشش (۹۰٪ و ۱۰۰٪) اندازه گیری می شود. در شکل

شماره ۱۵ بخش (a) طول عمر پوشش را با ناحیه پوششی ۱۰۰٪ ارائه می دهد و بخش (b) طول عمر پوشش را با ناحیه پوششی

۹۰٪ ارائه می دهد. در شکل مشاهده میشود که پروتکل پیشنهادی دارای طول عمر پوشش بهتری نسبت به دو پروتکل دیگر

در پوشش ۱۰۰٪ و هم پوشش ۹۰٪ دارد.

در S-MAC که نودها از زمان بندی خواب/بیدار تصادفی استفاده می کند ، آن باعث افزایش گوش دادن در حالت

بیکار و شامل بیشتر زمان بندیهای اشتباه می گردد و دلیل اینستکه بار ترافیکی نودها در زمان بندی خواب/بیدار در نظر گرفته نمی شوند .

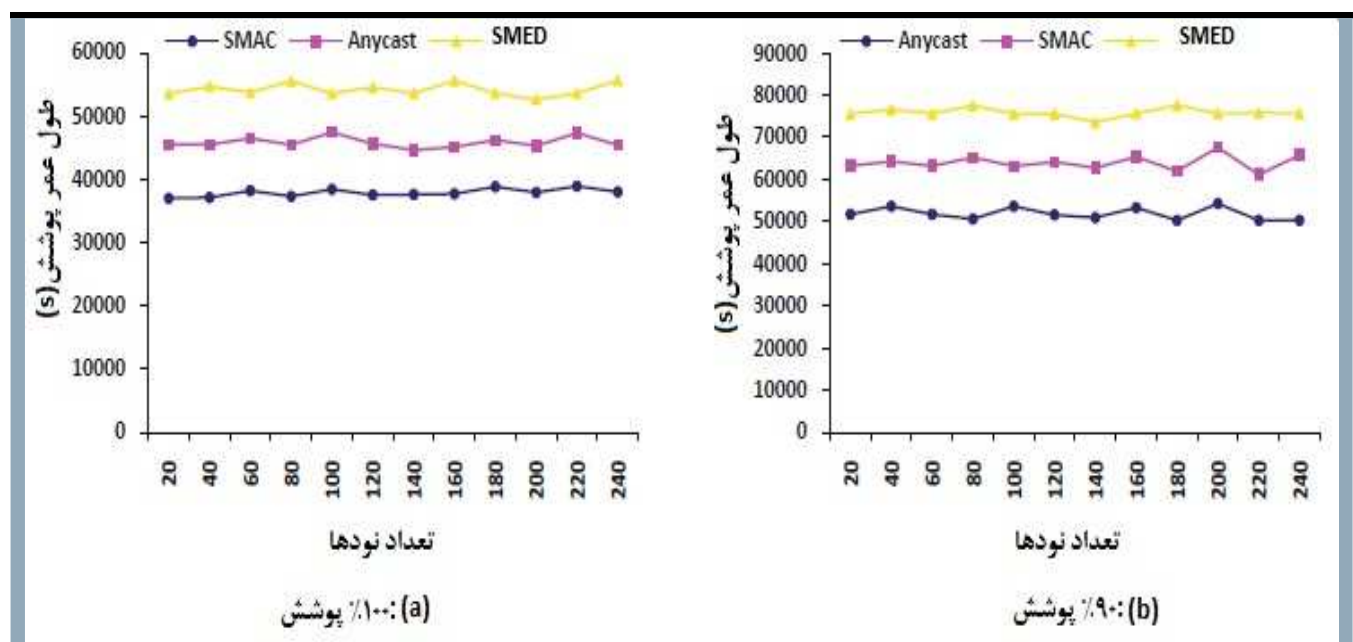
در پروتکل Anycast بیشتر از یک مسیر فعال می باشد و آن باعث هدر رفتن انرژی تعدادی از نودها برای گوش

دادن در حالت بیکار میگردد و همینطور زمان بندی اشتباه را دربردارد چرا که نودها را فعال می کند . در ضمن بار ترافیکی نودها را توجه نمی نماید . این نودها بزودی انرژی خود را از دست می دهند و همینطور پوشش کل شبکه را از دست خواهند داد .

❖ نتیجه گیری : در SMED ، از سوراخ شدن پوشش با بهره وری استفاده از انرژی نودها ، اجتناب می گردد و این بهره وری

با اختصاص زمان بندی خواب/بیدار نودها بر اساس بار ترافیکی (با لحاظ موقعیتشان در شبکه ، اهمیت توپولوژی آنها و

نزدیکی به نود سینک) حاصل می گردد .



شکل ۱۵- طول عمر پوشش برای تعداد مختلفی از سنسور نودها (a) : ۱۰۰٪ پوشش (b) : ۹۰٪ پوشش

ما در این گزارش یک پروتکل زمان بندی خواب/بیدار نود را برای به حداقل رساندن تاخیر نقطه به نقطه^۱ (SMED) را در شبکه های حسگر بی سیم چند پرشه^۲ - رویدادمحور^۳ را مورد بررسی قرار دادیم . در مقابل با طرح زمان بندی خواب /بیدار عمومی ، الگوریتم پیشنهادی ما مجری زمان بندی می باشد که وابسته به بار ترافیک شبکه است .نودهایی که این زمان بندی را برای خواب/بیدار می پذیرند (اساسا زمان بندی بر اساس بار ترافیک می باشد) ، باید در قبال سه فاکتور مهم پاسخگو باشند :

۱. مسافت نود از نود سینک^۴

۲. اهمیت توپولوژی نودها

۳. نود در مجاورتش اتفاق یا رویدادی رخ می دهد ؛

این پروتکل پیشنهادی ممکن می سازد نودها به آرامی ترافیک را کنترل کنند ، از آنجاییکه نودها بصورت دینامیکی مدت فعالیت خود را بر اساس بار ترافیکی مورد انتظار ، منطبق می کنند . اینکار باعث به حداقل رساندن تاخیر در نودها با شرایط زیر میگردد :

۱. نودهای نزدیک به نود سینک

۲. نودها دارای موقعیت توپولوژی بحرانی

۳. نودهای مجاور وقوع رویداد

این امر تضمین کننده انتشار سریع داده به نود سینک و همچنین کاهش تاخیر نقطه به نقطه می گردد .

^۱ SMED
^۲ Multi-Hop
^۳ Event Driven
^۴ Sink Node

با استفاده از این روش یا طرح پیشنهادی بهره‌وری شبکه را به حداکثر می‌رساند که اینکار را با کاهش دادن ازدحام در نودهایی که دارای بار ترافیک سنگین می‌باشند به سرانجام می‌رساند.

شبیه‌سازها بخدمت گرفته می‌شوند تا کارایی و عملکرد پروتکل پیشنهادی را ارزیابی کنند و اینکار را با مقایسه عملکرد پروتکل‌های S-MAC و AnyCast صورت می‌دهند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی به میزان قابل توجهی تاخیر نقطه به نقطه را کاهش می‌دهد و همچنین پارامترهای سرویس کیفیت را مانند (میانگین انرژی بر بسته^۱، میانگین تاخیر^۲، نسبت از دست دادن بسته‌ها^۳، گذردهی^۴ و طول عمر پوشش شبکه^۵) را افزایش می‌دهد.

Average Energy Per Packet^۱
Average Delay^۲
Packet Loss Ratio^۳
ThroughPut^۴
Coverage LifeTime^۵

1. S Gyula, Maróti Miklós, L?é?deczi ?kos, B György, K Branislav, Nédas András, P Gúbor, S János, F Ken, Sensor network-based countersniper system, in Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, ACM, Baltimore, (2004)
2. M Castillo-Effer, DH Quintela, W Moreno, R Jordan, W Westhoff, Wireless sensor networks for flash-flood alerting, in Devices, Circuits and Systems (2004). in Proceedings of the Conference on Fifth IEEE International Caracas
3. K Lorincz, DJ Malan, TRF Fulford-Jones, A Nawoj, A Clavel, V Shnayder, GMainland, M Welsh, S Moulton, Sensor networks for emergency response: challenges and opportunities, IEEE Pervas. Comput. 3(4), 16–23 (2004)
4. IF Akyildiz, S Weilian, Y Sankarasubramaniam, E Cayirci, A survey on sensor networks. IEEE Commun Mag. 40(8), 102–114 (2002). doi:10.1109/MCOM.2002.1024422
5. Y Jennifer, M Biswanath, G Dipak, Wireless sensor network survey. Comput Netw. 52(12), 2292–2330 (2008). doi:10.1016/j.comnet.2008.04.002
6. W Andrew, C SeongHwan, S Charles, C Anantha, Energy efficient Modulation and MAC for Asymmetric RF Microsensor Systems, in Proceedings of the 2001 international symposium on Low Power Electronics and Design, ACM, Huntington Beach, CA, (2008)
7. BA Myers, JB Willingham, P Landy, MA Webster, P Frogge, M Fischer, Design considerations for minimal-power wireless spread spectrum circuits and systems. Proc IEEE. 88(10), 1598–1612 (2000). doi:10.1109/5.888998
8. WL Lee, A Datta, R Cardell-Oliver, Flexi TP, a flexible-schedule-based TDMA protocol for fault-tolerant and energy-efficient wireless sensor networks. IEEE Trans Parallel Distrib Syst. 19(6), 851–864 (2008)
9. C Srisathapornphat, S Chien-Chung, Coordinated power conservation for ad hoc networks, in IEEE International Conference on Communications (2002)
10. NA Pantazis, DD Vergados, A survey on power control issues in wireless sensor networks. IEEE Commun Surv Tutor. 9(4), 86–107 (2007)
11. AP Nikolaos, JV Dimitrios, DV Dimitrios, D Christos, Energy efficiency in wireless sensor networks using sleep mode TDMA scheduling. Ad Hoc Netw. 7(2), 322–343 (2009). doi:10.1016/j.adhoc.2008.03.006
12. J Liu, S Singh, ATCP: TCP for mobile ad hoc networks. IEEE J Sel Areas Commun. 19(7), 1300–1315 (2001). doi:10.1109/49.932698
13. L Jie, Z Feng, P Cheung, L Guibas, Apply geometric duality to energy-efficient non-local phenomenon awareness using sensor networks. IEEE Wirel Commun. 11(6), 62–68 (2004). doi:10.1109/MWC.2004.1368898

14. C Juan-Carlos, M Pietro, A performance comparison of energy consumption for mobile ad hoc network routing protocols, in Proceedings of the 8th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, IEEE Computer Society, (2000)
15. V Tsaoussidis, H Badr, TCP-probing: towards an error control schema with energy and throughput performance gains, in Proceedings of 2000 International Conference on Network Protocols (2000)
16. S Suresh, CS Raghavendra, PAMAS—power aware multi-access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks. SIGCOMM Comput Commun Rev. 28(3), 5–26 (1998). doi:10.1145/293927.293928
17. Y Wei, J Heidemann, D Estrin, An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, in Proceedings on Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies INFOCOM (2002)
18. C Benjie, J Kyle, B Hari, M Robert, Span: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks. Wirel Netw. 8(5), 481–494 (2002). doi:10.1023/A:10165422292202
19. L van Hoesel, T Nieberg, W Jian, PJM Havinga, Prolonging the lifetime of wireless sensor networks by cross-layer interaction. IEEE Wirel Commun. 11(6), 78–86 (2004). doi:10.1109/MWC.2004.1368900
20. A Giuseppe, C Marco, F Mario Di, P Andrea, Energy conservation in wireless sensor networks: A survey. Ad Hoc Netw. 7(3), 537–568 (2009). doi:10.1016/j.adhoc.2008.06.003
21. C Schurgers, V Tsiatsis, MB Srivastava, STEM: topology management for energy efficient sensor networks, in Proceedings on Aerospace Conference (2002)
22. C Schurgers, V Tsiatsis, S Ganeriwal, M Srivastava, Optimizing sensor networks in the energy-latency-density design space. IEEE Trans Mobile Comput. 1(1), 70–80 (2002). doi:10.1109/TMC.2002.1011060
23. Y Xue, NH Vaidya, A wakeup scheme for sensor networks: achieving balance between energy saving and end-to-end delay, in 10th IEEE Proceedings on Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, RTAS 2004 (2004)
24. T Yu-Chee, H Chih-Shun, H Ten-Yueng, Power-saving protocols for IEEE 802.11-based multi-hop ad hoc networks, in Proceedings on Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies INFOCOM 2002 (2002)
25. Z Rong, CH Jennifer, S Lui, Asynchronous wakeup for ad hoc networks, in Proceedings of the 4th ACM International Symposium on Mobile ad hoc Networking & Computing, ACM, Annapolis, MD, (2002)
26. D Jing, SH Yunghsiang, BH Wendi, KV Pramod, Scheduling sleeping nodes in high density cluster-based sensor networks. Mobile Netw Appl. 10(6), 825–835 (2005). doi:10.1007/s11036-005-4441-9
27. D Jing, SH Yunghsiang, BH Wendi, KV Pramod, Balanced-energy sleep scheduling scheme for high-density cluster-based sensor networks. Comput Commun. 28(14), 1631–1642 (2005). doi:10.1016/j.comcom.2005.02.019
28. Y Xu, J Heidemann, D Estrin, Adaptive energy-conserving routing for multihop ad hoc network. (2000) Research Report 527, USC/Information Sciences Institute

29. T Di, DG Nicolas, A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks, in Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, ACM, Atlanta, GA,(2002)
30. P Lin, C Qiao, X Wang, Medium access control with a dynamic duty cycle for sensor networks. in Wireless Communications and Networking Conference (2004)
31. D Tijs van, L Koen, An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, in Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, ACM, Los Angeles, CA, (2003)
32. Y Shih-Hsien, T Hung-Wei, EHK Wu, C Gen-Huey, Utilization based duty cycle tuning MAC protocol for wireless sensor networks, in Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE (2005)
33. K Joohwan, L Xiaojun, NB Shroff, P Sinha, Minimizing delay and maximizing lifetime for wireless sensor networks with anycast. IEEE/ACM Trans Netw. 18(2), 515–528 (2010)
34. AA Abbasi, K Akkaya, M Younis, A distributed connectivity restoration algorithm in wireless sensor and actor networks, in 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks 2007, LCN 2007 (2007)