



## مقایسه عملکرد پروتکل‌های مسیریابی SMAC و Zigbee تحت پروتکل خواب انتشار مستقیم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

محمد بهاروند ایران نیا

۱- کارشناس ارشد مخابرات - کارشناس ارتباطات - شرکت ارتباطات زیرساخت

Mohammad.irannia@gmail.com

ارسال: اردیبهشت ماه ۹۸ پذیرش: خرداد ماه ۹۸

### چکیده

امروزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم به یکی از عناصر مهم و کلیدی در علم و صنعت تبدیل شده‌اند که استفاده از آنها باعث رشد کیفی و کمی در مدیریت هوشمند فرآیندها گشته است. در این میان مانند هر تکنولوژی نوپای دیگری که به عرصه علم و فناوری وارد می‌گردد موانعی ناخواسته بر سر راه رشد و تکامل آن قرار می‌گیرد که هدف پژوهشگران و محققان کاهش هرچه بیشتر و یا حتی رفع آن می‌باشد. یکی از اصلی‌ترین موانع بر سر راه توسعه و بهره‌برداری هرچه وسیع‌تر از این شبکه‌ها تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز برای گره‌های شبکه می‌باشد. در این خصوص پژوهشگران مسیرهای مختلفی را برای عبور از این مانع بکار گرفته‌اند که از موفق‌ترین این راه‌کارها می‌توان به استفاده از پروتکل‌های مسیریابی هوشمند و روشهای خواب-بیداری بهینه اشاره نمود که هدف نهایی این روشها غالباً کاهش حداکثری مصرف انرژی و بالا بردن راندمان شبکه می‌باشد. ما در این مقاله برآیند تا با مقایسه دو پروتکل SMAC و Zigbee که در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند و شبیه‌سازی عملکرد این دو پروتکل مسیریابی در ذیل پروتکل خواب انتشار مستقیم در فضای نرم‌افزار NS2 راندمان این دو پروتکل مسیریابی را در یک شبکه حسگر بی‌سیم مدل‌سازی شده با یکدیگر مقایسه نماییم.

کلمات کلیدی: حسگر بی‌سیم، SMAC، Zigbee، NS2، انتشار مستقیم

### ۱- مقدمه

در استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم مسائل مختلفی وجود دارد که در هر جایی ایجاد مانع می‌نماید که این مسایل در اثر خواص نودهای حسگر و یا شبکه‌های بی‌سیم ممکن است ایجاد گردند. در راس این مسائل این موضوع است که شبکه‌های حسگر بی‌سیم انرژی محدود دارند و معمولاً با باتری کار می‌کنند. با این وجود اغلب اوقات تعویض باتری سنسورهایی که در محدوده وسیعی گسترده شده‌اند کاری مشکل و غیر عملی می‌باشد. بنابراین ذخیره انرژی هر سنسور البته با لزوم حفظ کیفیت سرویس مورد اهمیت می‌باشد. این چالشها باعث ایجاد انگیزه برای طراحی پروتکل‌های با مصرف انرژی بهینه و تحقیق در مورد سخت افزارهای بهینه‌سازی انرژی گشت. به علاوه سنسورهای بی‌سیم معمولاً توان محدود دارند و همچنین از نظر قابلیت محاسبات نیز دارای محدودیت می‌باشند. بنابراین سنسورها ممکن است قادر به پردازش اطلاعات پیچیده نباشند و همچنین باید از پروتکل‌های سبک

استفاده گردد. دیگر اینکه شبکه‌های حسگر بی سیم باید در برابر خطا مقاوم باشند زیرا ممکن است در عمل با چالش‌هایی از قبیل شرایط بد آب و هوایی، خطا در نودها و توپولوژی متغیر و ... مواجه شوند. برای برآورده شدن الزامات برنامه پروتکل‌های طراحی شده برای شبکه حسگر بی سیم نیازمند داشتن سطح خاصی از استحکام هستند. برای مثال استفاده از بیشتر از یک مسیر می‌تواند از قطع شدن مسیر به علت خرابی در یک نود مسیر جلوگیری کند و مانع از افت کیفیت در یک مسیر خاص گردد. شبکه‌های حسگر بی سیم همچنین نسبت به سایر شبکه‌ها در معرض چالش‌هایی از قبیل امنیت، حفظ حریم خصوصی، کیفیت سرویس، پایداری و پاسخ در زمان مناسب مواجه هستند. از آنجایی که شبکه‌های حسگر بی سیم با باتری کار می‌کنند از لحاظ تامین منابع انرژی با محدودیت مواجه هستند و اغلب مواقع شارژ کردن آنها کاری غیر عملی یا نامناسب می‌باشد، از این رو بالا جبار باید از تکنیک‌هایی استفاده نمایم که بتوانند برنامه کاری را برای بازه زمانی گسترده‌ای پشتیبانی نمایند. در میان تکنیک‌های ذخیره سازی انرژی جلوگیری از ایجاد سیل، تنظیم ترافیک با استفاده از توابع هزینه، همجوشانی اطلاعات و قرار دادن سنسورها در حالت خواب از روش‌هایی هستند که به صورت گسترده تر استفاده می‌شوند و از لحاظ مالی به صرفه‌تری برای بالا بردن طول عمر اجرای برنامه می‌شوند. با خاموش کردن رادیو هر سنسور در زمان مناسب، طرح‌های خواب مختلف به منظور کاهش زمانهای روشن ماندن بیکار که در شبکه‌های حسگر بی سیم اجرا می‌شود به مقدار کمی نسبت به حالت عادی ایجاد منفعت در مصرف انرژی می‌شود به منظور افزایش طول عمر شبکه لایه‌های مختلف در پشته‌های پروتکلی بنا به صلاحدید خودشان سنسورهای مازاد در حالت خواب قرار می‌دهند. به عنوان مثال لایه application می‌تواند با انتخاب و فعال کردن یک زیر مجموعه از نودهای منبع به منظور ساپورت کردن کیفیت سرویس و قرار دادن بقیه سنسورهای در حالت خواب انرژی آنها را برای استفاده‌های بعدی ذخیره می‌نماید. در سمت دیگر لایه مسیریابی می‌تواند از پروتکل‌های کنترل توپولوژی برای محدود کردن تعداد مسیرهای فعال در شبکه استفاده نماید، یا اینکه سنسورها را زمانی که پروتکل تشخیص داد که در مسیر انتقال اطلاعات نیستند در حالت خواب قرار دهد. اولین حرکت در تحقیقات شبکه‌های حسگر بی سیم در حدود سال ۱۹۹۸ رقم خورد و از آن به بعد نظر محققان زیادی را در سرتاسر دنیا به خود جلب کرد در تحقیقات جدیدی که روی شبکه‌های حسگر انجام می‌گیرد امکانات و تکنولوژی‌های شبکه‌ای بسیار برای محیط‌های ادهاک با دینامیکی بالا مناسب می‌باشند و تمرکز کار روی حسگرهای بی سیم بیشتر و بیشتر شد علاوه بر اینکه نودهای حسگر ساینز کوچکتر و قیمت ارزان‌تری دارند و در نتیجه کاربردهای زیادتری را می‌توان از آنها داشت کاربردهایی همچون نظارت‌های محیطی، شبکه‌های حسگر خودرویی و شبکه‌های حسگر بدنی و غیره. مجدداً DARPA بعنوان یک پیش رو، در تحقیقات شبکه‌های حسگر کار خود را با تحقیق روی برنامه‌ای به نام SensIT آغاز نمود که در آن شبکه‌های حسگر فعلی را مجهز به قابلیت‌های همچون شبکه‌های ادهاک، پرس و جوی دینامیک و ایجاد توانایی چند وظیفه‌گی و دوباره برنامه نویسی در آنها بود. در همان زمان IEEE شبکه‌هایی با هزینه‌هایی کمتر و توانایی‌های بالاتر از شبکه‌های حسگر را معرفی کرد و به عنوان استاندارد IEEE 802.15.4 برای شبکه‌های بی سیم شخصی با نرخ داده پایین معرفی شد و به دنبال آن اتحادیه ZigBee استانداردهای موسوم به استانداردهای ZigBee را منتشر کرد که در آن تعدادی پروتکل ارتباطی سطح بالا که توسط شبکه‌های حسگر بی سیم بکار می‌رفت را معرفی می‌کرد و اکنون شبکه‌های حسگر بی سیم یکی از مهم‌ترین تکنولوژی‌های قرن ۲۱ می‌باشند کشورهای همچون چین شبکه‌های حسگر بی سیم را بعنوان یک استراتژی ملی در راس برنامه‌های تحقیقاتی خود قرار داده است هم چنین دید تجاری به شبکه‌های حسگر بی سیم نیز در بسیاری از کمپانی‌های معروف در حال افزایش است. این پایان‌نامه به یکی از دغدغه‌های عمده و عمومی در شبکه‌های حسگر بی سیم می‌پردازد و با بهینه‌سازی استراتژی‌های خواب سعی در بهبود آن خواهد داشت.

## ۲- چالشها

در استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم مسائلی مختلفی وجود دارد که در هر جایی ایجاد مانع می‌نماید که این مسایل در اثر خواص نودهای حسگر و یا شبکه‌های بی‌سیم ممکن است ایجاد گردند. در راس این مسائل این موضوع است که شبکه‌های حسگر بی‌سیم انرژی محدود دارند و معمولاً با باتری کار می‌کنند. با این وجود اغلب اوقات تعویض باتری سنسورهایی که در محدوده وسیعی گسترده شده‌اند کاری مشکل و غیر عملی می‌باشد. بنابراین ذخیره انرژی هر سنسور البته با لزوم حفظ کیفیت سرویس مورد اهمیت می‌باشد. این چالشها باعث ایجاد انگیزه برای طراحی پروتکل‌های با مصرف انرژی بهینه و تحقیق در مورد سخت افزارهای بهینه‌سازی انرژی گشت. به علاوه سنسورهای بی‌سیم معمولاً توان محدود دارند و همچنین از نظر قابلیت محاسبات نیز دارای محدودیت می‌باشند. بنابراین سنسورها ممکن است قادر به پردازش اطلاعات پیچیده نباشند و همچنین باید از پروتکل‌های سبک استفاده گردد. دیگر اینکه شبکه‌های حسگر بی‌سیم باید در برابر خطا مقاوم باشند زیرا ممکن است در عمل با چالش‌هایی از قبیل شرایط بد آب و هوایی، خطا در نودها و توپولوژی متغیر و ... مواجه شوند برای برآورده شدن الزامات برنامه پروتکل‌های طراحی شده برای شبکه حسگر بی‌سیم نیازمند داشتن سطح خاصی از استحکام هستند. برای مثال استفاده از بیشتر از یک مسیر می‌تواند از قطع شدن مسیر به علت خرابی در یک نود مسیر جلوگیری کند و مانع از افت کیفیت در یک مسیر خاص گردد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم همچنین نسبت به سایر شبکه‌ها در معرض چالش‌هایی از قبیل امنیت، حفظ حریم خصوصی، کیفیت سرویس، پایداری و پاسخ در زمان مناسب مواجه هستند.

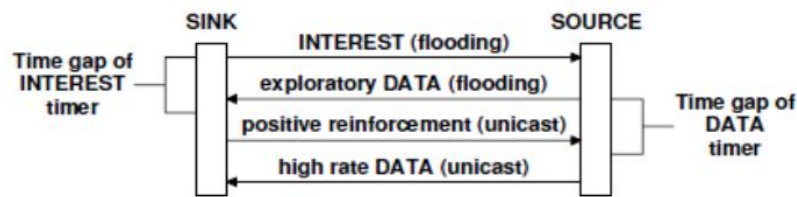
## ۳- انگیزه‌ها و اهداف

از آنجایی که شبکه‌های حسگر بی‌سیم با باتری کار می‌کنند از لحاظ تامین منابع انرژی با محدودیت مواجه هستند و اغلب مواقع شارژ کردن آنها کاری غیر عملی یا نامناسب می‌باشد، از این رو بالاجبار باید از تکنیک‌هایی استفاده نمایم که بتواند برنامه کاری را برای بازه زمانی گسترده‌ای پشتیبانی نمایند. در میان تکنیک‌های ذخیره سازی انرژی جلوگیری از ایجاد سیل، تنظیم ترافیک با استفاده از توابع هزینه، همجوشانی اطلاعات و قرار دادن سنسورها در حالت خواب از روشهایی هستند که به صورت گسترده‌تر استفاده می‌شوند و از لحاظ مالی به صرفه‌تری برای بالا بردن طول عمر اجرای برنامه می‌شوند. با خاموش کردن رادیو هر سنسور در زمان مناسب، طرح‌های خواب مختلف به منظور کاهش زمانهای روشن ماندن بیکار که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم اجرا می‌شود به مقدار کمی نسبت به حالت عادی ایجاد منفعت در مصرف انرژی می‌شود به منظور افزایش طول عمر شبکه لایه‌های مختلف در پشته‌های پروتکلی بنا به صلاحدید خودشان سنسورهای مازاد را در حالت خواب قرار می‌دهند. به عنوان مثال لایه application می‌تواند با انتخاب و فعال کردن یک زیر مجموعه از نودهای منبع به منظور ساپورت کردن کیفیت سرویس و قرار دادن بقیه سنسورها در حالت خواب انرژی آنها را برای استفاده‌های بعدی ذخیره می‌نماید. در سمت دیگر لایه مسیریابی می‌تواند از پروتکل‌های کنترل توپولوژی برای محدود کردن تعداد مسیرهای فعال در شبکه استفاده نماید، یا اینکه سنسورها را زمانی که پروتکل تشخیص داد که در مسیر انتقال اطلاعات نیستند در حالت خواب قرار دهد. لایه MAC هم می‌تواند به صورت همزمان با این کار چرخه‌های خواب-بیداری را برای کاهش زمانهای گوش دادن بیکار سازماندهی کند [۲]. از آنجایی که خواب سنسورها می‌تواند در لایه کاربرد، لایه شبکه و لایه MAC به صورت جداگانه اجرا شود این سوالات ایجاد می‌شود که کدام لایه اگر برای خواب استفاده شود منفعت بیشتری خواهد داشت یا اینکه هر برنامه برای خواب تحت چه شرایطی بهتر است اجرا گردد و اینکه وقتی عملیات خواب در لایه‌های مختلف انجام می‌شود آیا اعمال هماهنگی بین لایه‌های مختلف باعث بهتر انجام گرفتن کار خواهد شد؟ پاسخ به این سوالات به تنهایی راهنمای ما برای پیاده‌سازی یک شبکه حسگر بی‌سیم به صورت عملی نیست اما می‌تواند برای ما به منظور دادن یک پیشنهاد برای اجرای یک راه حل انطباقی که بتواند استراتژی خواب را بین لایه‌ها با توجه به شرایط شبکه و نیازهای به صورت پویا کمک خوبی باشد. با اعمال این راه حل انطباقی این انتظار ایجاد

می‌شود که شبکه حسگر با حفظ کیفیت سرویس خود دارای عمر طولانی‌تری بشود. برای داشتن یک رهیافت انطباقی برای استراتژی خواب لایه‌ای اطلاعات زیر باید کسب گردند اول اینکه مزایا و معایب استراتژی‌های خواب متفاوت در لایه‌های متفاوت چیست؟ دوم اینکه چگونه می‌توان میزان عملکرد استراتژی‌های خواب را به صورت کمی در لایه‌های مختلف تخمین زد؟ سوم اینکه وقتی خواب در لایه‌های چندگانه امکان‌پذیر باشد چه نوع هماهنگی برای بیشتر کردن طول عمر شبکه نیاز است؟ در آخر هم اینکه چگونه می‌توان برای ساماندهی خواب سنسورها یک تصمیم پویا اتخاذ نمود؟ هدف از راه حل انطباقی ما بهبود بخشیدن طول عمر شبکه و منعطف کردن شبکه برای سبک-سنگین کردن طول عمر شبکه با استفاده از اطلاعات قابل اطمینان است.

#### ۴- خواب انتشار مستقیم

برای ایجاد خواب در گره‌های مسیریابی زمانی که آنها در انتقال داده‌ها سهیم نیستند لازم است به اهمیت جاری شدن INTEREST و داده‌های اکتشافی DATA، توجه کنید و توالی زمان ایجاد مسیر و نگهداری در انتشار مستقیم را پیدا کنید. همانطور که در بالا ذکر شد، در انتشار مستقیم دو نوع floodings بحرانی در سراسر شبکه وجود دارد [۳]. یک مورد جریان دوره ای بسته INTEREST است، که توسط گره سینک شروع می‌شود. تمام گره مسیریابی نیاز به بیدار شدن برای ارسال این بسته به جلو را دارند، به طوری که گره‌های منبع در نهایت می‌توانند آن را دریافت کنند، و یک جدول شیب را می‌توان به مسیر دهی جریان DATA ایجاد نموده که بسته‌هایی را دنبال می‌کنند. جریان دیگر به صورت دوره‌ای توسط گره منبع آغاز می‌شود. تمام گره مسیریابی نیاز به بیدار بودن دارند تا بسته‌های اطلاعاتی را جلو ببرند به طوری که گره Sink در نهایت می‌تواند آنها را دریافت نموده و شروع به تقویت مثبت آنها بر اساس زمان ورود آنها نماید.



شکل ۱- توالی زمان ایجاد مسیر در انتشار مستقیم خواب

در نتیجه، برای هر یک از INTEREST های قابل تشخیص (کوئری برای ویژگی‌های داده‌های مختلف)، دو زمان سنج، تایمر INTEREST و شمارنده داده‌ها، را تعریف می‌کنیم. دو تایمر برنامه ریزی شده و به صورت دوره‌ای روشن می‌شوند. به طور خاص، تایمر INTEREST پس از جریان INTEREST به پایان می‌رسد، و قبل از جاری شدن INTEREST بعدی شروع می‌شود، در حالی که تایمر داده پس از اتمام جریان داده‌های اکتشافی به پایان می‌رسد و قبل از شروع‌های بعدی داده‌های جریان اکتشافی شروع می‌شود. یک حسگر ممکن است وقتی که یکی از دو زمان سنج در حال کار هستند به خواب رود، اما زمانی که تایمر دیگر روشن می‌شود باید از خواب بیدار شود، و بیدار باقی بماند تا زمانی که تایمر مجدداً زمان بندی می‌شود. فاصله زمانی بین زمانی که تایمر روشن می‌شود و هنگامی که آن مجدداً زمان بندی می‌شود وجود دارد. فاصله زمانی مورد استفاده برای پاسخ به جریان مربوطه است تا مسیر تقویت شده از گره سینک به گره منبع ایجاد شود. از این رو، فاصله زمانی تایمر INTEREST مورد استفاده قرار می‌گیرد تا منتظر جاری شدن داده‌های اکتشافی شود در صورتی که گره‌های منبع جدید کشف شوند، در حالی که فاصله زمانی تایمر DATA برای بسته‌های تقویت مثبت استفاده می‌شود طوری که یکی از گره‌های منبع را می‌توان تقویت نمود و شروع به انتقال داده با سرعت بالا نمود. اگر یک گره؛ بسته داده‌های اکتشافی در فاصله زمانی تایمر INTEREST را دریافت نکند که در نتیجه نبود هیچ منبع گره در دسترس و یا از دست دادن بسته، تایمر اکتشافی DATA آغاز نمی‌شود. از این

رو، گره تایمر INTEREST را برای خواب دنبال می کند (هنگامی که آن را در حال تعلیق است) و بیدار می شود (هنگامی که آن منقضی می شود). در غیر این صورت، تایمر داده های اکتشافی شروع می شود، و آن به صورت دوره ای با توجه به نرخ های اکتشافی برنامه ریزی می شود. اگر گره یک بسته تقویت مثبت را در طول فاصله زمانی از تایمر، DATA دریافت کند گره در مسیر تقویت قرار داده می شود، و در نتیجه نمی تواند بخواهد تا زمانی که بصورت منفی تقویت می شود و یا انرژی خود را از دست می دهد. اگر گره هر بسته تقویت مثبت را در طول فاصله زمانی تایمر DATA دریافت نکند گره به خواب می رود زمانی که هر دو زمان سنج ها در انتظار هستند (بدون جاری شدن جریان است)، و هر زمان که حداقل یکی از تایمرها منقضی شوند بیدار می شوند [۴].

#### ۴-۱- مقایسه عملکرد پروتکل های SMAC و ZIGBEE در انتشار مستقیم

زیگ بی پیمانی است که برای شرکت هایی است که با هم کار می کنند و آنها را قادر می سازد که بتوانند نظارت و کنترل محصولات را از طریق شبکه ای بی سیم و مقرون به صرفه و با توان را بر اساس استانداردهای جهانی کم انجام دهند. زیگ بی مشخصه دسته ایی از پروتکل های ارتباط سطح بالا است که از فرستنده و گیرنده های دیجیتال کم مصرف مبتنی بر استاندارد IEEE802.15.4 برای شبکه های شخصی بی سیم با نرخ ارسال داده پایین استفاده می کنند. زیگ بی به منظور تعریف یک تکنولوژی ساده تر و ارزانتر از بلوتوث برای شبکه های شخصی بی سیم بوجود آمده است. به کمک زیگ بی می توان بیش از ۶۴۰۰۰ وسیله را بطور بی سیم از طریق شبکه به هم وصل نمود. در شبکه های زیگ بی سه نوع ابزار می توان یافت: هماهنگ کننده ها، مسیریاب ها و دستگاه های پایانه ای. هماهنگ کننده ها بر آرایش و امنیت شبکه نظارت می کنند. مسیریاب ها برد شبکه را گسترش می دهند و دستگاه های پایانه ای، عملکردهای حسی یا کنترلی خاص را بر عهده دارند. با این حال اغلب این ابزارها می توانند بیش از یک کارایی داشته باشند مثلاً یک دستگاه می تواند در عین حال که تجهیزات روشنایی را کنترل می کند برای پیامهایی که از سایر قسمتهای شبکه می آید به عنوان مسیریاب عمل کند [۵]. پیمان زیگ بی در IEEE 802.15.4 بعنوان لایه های MAC و فیزیکی و شیوه ای برای جستجوی استانداردهای بالاتر برای کنترل و نظارت سیستم های روشنایی و سیستم های تهویه و تبرید HVAC مورد استفاده است. همچنین به عنوان بازوی اجرایی برای IEEE 802.15.4 و سیستم های Wi-Fi در IEEE 802.11 عمل می کند. مشخصه های شبکه های زیگ بی در ۲۰۰۴ به تصویب رسیده است و هر دو نوع شبکه هم شبکه های ستاره و ترکیبی و شبکه های توری را پشتیبانی می کند. در حالی که IEEE 802.15.4 استاندارد است که مشخصه های مخابراتی برای شبکه های بی سیم مشخص می کند تعریف کوتاهی برای مشخصه های حسگرهای میانی ارائه نداده است. از ویژه گیهای zigbee کار در محدوده فرکانسی 2.4 GHZ با سرعت انتقال ۲۵۰ kbit/s، برد ۱۰ تا ۱۰۰ متر با توجه به توان فرستنده و ویژه گیهای محیط مکانیسم های ذخیره انرژی برای کلاس های مختلف دستگاه ها را در بر می گیرد و دارای گزینه های انتقال داده های متنوع می باشد [۶].

#### ۴-۲- تکنولوژی zigbee

Zigbee بسیار کم هزینه، کم قدرت و دارای شبکه های بی سیم استاندارد است. کم هزینه بودن اجازه می دهد تا این فناوری به صورت گسترده در سیستم های کنترل بی سیم مورد استفاده قرار گیرد. قدرت مصرفی کم اجازه می دهد تا شبکه با باطری های کوچکتر طول عمر بیشتری داشته باشد و شبکه های مش قابلیت اطمینان بالاتر و محدوده کاری بزرگتری را ایجاد می کند. ارائه کنندگان زیگ بی معمولاً آنرا با رادیوهای یکپارچه و میکروپروسسورهای ۶۰ و ۲۵۶ کیلوبایتی عرضه می کنند. Zigbee ایجاد شده بر لایه فیزیکی دارای کنترل دسترسی متوسط تعریف شده در استاندارد IEEE802.15.4 نسخه (۲۰۰۳) برای نرخ WPAN

است. خصوصیات برای تکمیل این استاندارد با اضافه کردن چهار قسمت اصلی است: لایه شبکه، لایه کاربردی، اشیاء دستگاه‌های ZigBee(ZDO) و اشیاء تعریف شده توسط تولید کننده نرم افزار است که اجازه سفارشی سازی و یکپارچه سازی را صادر می کند. علاوه بر اضافه کردن دو لایه شبکه در سطح بالا به ساختار، مهم ترین بخش از ZDO قابل بهبود است. این مسئول تعدادی از وظایف، که شامل نگهداری از نقش دستگاه، مدیریت درخواست برای پیوستن به یک شبکه، کشف دستگاه و امنیت است را بر عهده می گیرد. Zigbee در راستای حمایت از شبکه powerline به کار گرفته می شود اما رابط با آن را برای اندازه گیری هوشمند و دستگاه های هوشمند حداقل می سازد. از آنجا که گره ZigBee می تواند در ۳۰ هزارم ثانیه یا کمتر از حالت خواب به حالت فعال دست یابد، زمان تاخیر را می توان پایین و دستگاه را می توان پاسخگو، به ویژه در مقایسه با بلوتوث دانست، که به طور معمول حدود سه ثانیه است. از آنجا که گره ZigBee می تواند در حالت خواب قرار گیرد، مصرف برق به طور متوسط کم شده و در نتیجه عمر باتری طولانی می گردد.

#### ۳-۴-S-MAC:

S-MAC یک الگوریتم کنترل دستیابی به رسانه، مبتنی بر رقابت می باشد که برای شبکه های حسگر بی سیم طراحی شده و در حال حاضر یکی از الگوریتم هایی است که مبنای کار بسیاری از تحقیقات به شمار می رود. این الگوریتم بر اساس رویه ی بیداری نوبتی عمل مینماید که در آن هر گره دوره شنیدن و دوره خواب را با طول ثابت مطابق زمانبندی به نوبت انجام می دهد و شامل: زمانبندی خواب/شنیدن، اجتناب از فاصله دور شنیدن، اجتناب از برخورد و روش پیام گذران می باشد. دوره شنیدن هر گره به سه بخش مجزا تقسیم شده است:

در اولین مرحله (SYNC) هر گره بسته های SYNC را که از همسایه های خود دریافت کرده، می پذیرد. در این بسته ها، گره های همسایه زمانبندی های خود را توصیف می کنند و گره آن ها را در جدول زمانبندی خود ذخیره می کند. در مرحله دوم RTS گره، برای دریافت RTS به گره های همسایه خود گوش می دهد. در S-MAC از دست دهی CTS/RTS برای کاهش برخورد بسته های داده به علت موقعیت های ترمینال مخفی استفاده می شود. در سومین مرحله CTS، اگر بسته RTS ای در مرحله قبل دریافت شده باشد، گره یک بسته CTS ارسال می کند. چرخه کاری به عنوان نسبت دوره شنیدن به چرخه کامل خواب و شنیدن تعریف شده است. یک چرخه کامل، دوره شنیدن و خوابیدن است که یک فریم نامیده می شود. در S-MAC حالت چرخه کاری کم، به عنوان پیش فرض برای همه گره ها در نظر گرفته می شود. عملیات چرخه کاری کم، مصرف انرژی را کاهش داده اما تأخیر را افزایش می دهد. در طول دوره خواب، گره آنتن خود را در صورت امکان خاموش خواهد کرد. برای رسیدن به حداکثر انرژی ذخیره شده و بهبود تأخیر، S-MAC یک مکانیزم همزمانی کامل را تعریف می کند که شامل پخش بسته های SYNC دوره ای، جدول زمانبندی و نگه داری لیست همسایه ها، کشف متناوب همسایه ها، به روز کردن متناوب لیست همسایه و... می باشد. هر گره S-MAC اطلاعاتی از زمانبندی خود را در یک بسته SYNC قرار داده و آن را برای همسایه ها به صورت دوره ای پخش می نماید. گره ها از دست دهی CTS/RTS که شامل مکانیزم تشخیص حامل مجازی است و به موجب آن یک NAV متغیر را نگه داری می کند، استفاده می کنند. مکانیزم NAV می تواند برای قطع گره در طول ارسال در حال پیشرفت استفاده شود تا از استراق سمع جلوگیری کند. انتقال پیام با رویه ACK/DATA/CTS/RTS برای محدود کردن مشکل ترمینال مخفی و برخوردها انجام می شود. گره های حسگر، بسته های CTS/RTS را در طول دوره زمانی فعال ارسال می کنند، اما داده در طول دوره غیرفعال ارسال می شود. بنابراین گره های حسگر

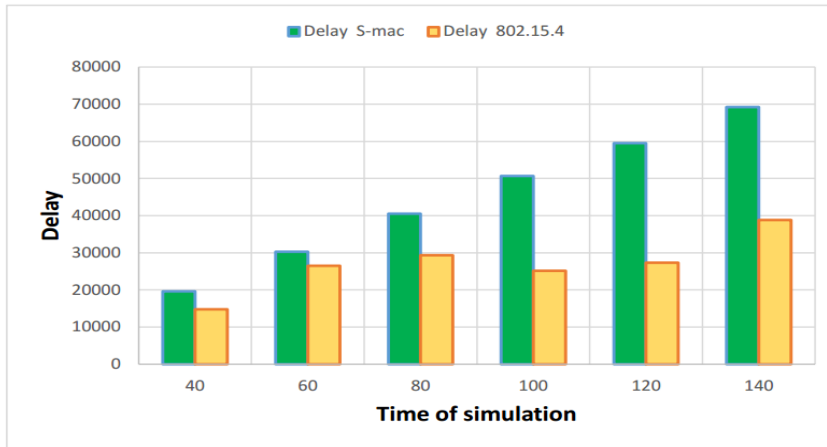
ممکن است وارد دوره خواب نشوند [۷]. گره ای که اتفاقی بسته RTS و CTS مربوط به گره دیگری را می شنود، وارد حالت خواب شده تا از مصرف بیهوده انرژی جلوگیری نماید. الگوریتم S-MAC اجازه می دهد، گره های مجاور، روی زمانبندی یکسان و ایجاد دسته بندی های مجازی توافق کنند. گره های همسایه برای تنظیم زمانبندی، خواب مشترک را تشکیل می دهند. گره هایی که دارای زمانبندی یکسانی هستند، یک دسته مجازی نامیده می شوند. دو گره مجاور که در دو دسته مجازی متفاوت مستقر هستند در دوره شنیدن هر دو گروه ها باید بیدار شوند. گره ها با همسایگانی در دو گروه یا بیشتر را گره حاشیه می نامند. اگر گره حاشیه بخواهد با همسایه های خود در طول دوره شنیدن آن ها صحبت کند، باید بداند که چه موقع، بیدار می شوند و کی بخواب می روند. برای همین منظور جدول زمانبندی برای آنها در نظر گرفته شده است. یک گره حاشیه باید چندین زمانبندی را برای همزمان شدن با همسایه هایی که دارای زمانبندی های متفاوتی می باشند، داشته باشد. در نتیجه گره های حاشیه انرژی خیلی بیشتری را نسبت به گره های غیر حاشیه مصرف می کنند. تغییر زمانبندی با پخش کردن بسته های SYNC به صورت دوره ای به نزدیک ترین همسایه ها انجام می شود. پیام SYNC اجازه می دهد، گره های حسگر زمانبندی های همسایه ها را یاد گرفته و بدین صورت می توانند در زمان مناسب برای ارسال پیام بیدار بمانند. اندازه های متفاوت دسته، روی کارایی پرتکل تأثیر دارد. همچنین S-MAC توانایی کنترل نمودن اندازه دسته ی مجازی را نیز ندارد. مهم ترین اطلاعات در یک بسته SYNC، مربوط به زمان خواب می باشد که به تمام گره هایی که این بسته را دریافت کرده اند، دوره خواب بعدی را اعلام می کند. هر گره S-MAC یک جدول زمانبندی را نگهداری میکند که در آن زمانبندی خود و تمام همسایه های شناخته شده اش را داراست. دسته های مجازی همچنین روش پیام گذران را می پذیرند. در رسانه ی بی سیم توصیه می شود که بسته های بزرگتر به چندین بسته کوچکتر شکسته شوند. S-MAC روش تکه تکه کردن را به طریق زیر انجام می دهد: یک مجموعه از قطعات فقط با مبادله یک CTS/RTS بین گره ارسال A و گره دریافت B فرستاده می شوند. بعد از هر قطعه، B باید با بسته اعلام وصول، پاسخ دهد. همه بسته ها فیلد مدت زمان قرار گرفتن روی رسانه را دربردارند و گره همسایه (C) نیز نیاز دارد، NAV خود را بر طبق آن تنظیم کند. اگر یک قطعه به ارسال مجدد نیاز داشته باشد مدت باقیمانده توسط مدت داده به علاوه بسته اعلام وصول افزایش می یابد و رسانه برای این مدت تمدید می شود. S-MAC فرض میکند که همه گره ها چرخه کاری یکسان و ثابتی دارند. در حالی که هر گره میزان انرژی و بارترافیکی متفاوتی دارد و نمی تواند با شرایط متفاوت، تطبیق پیدا کند. مسئله تأخیر بالای این پرتکل از جمله نقاط ضعف آن می باشد. در این شبیه سازی شرایط محیطی و شبکه را بگونه ای فرض می کنیم که:

- (۱) سنسورهای ایستا هستند و به طور تصادفی در یک منطقه داده توزیع شده اند (۲) فقط یک گره سینک و بیش از یک گره منبع وجود دارد، (۳) گره Sink دارای منبع قدرت بی نهایت است، در حالی که گره های دیگر J22 انرژی اولیه دارند،
- (۴) مصرف برق در هر گره در حالات انتقال، دریافت، و وضعیت بیکار کلاً ۵۰ میلی وات تعیین می شود، بر اساس CC1000، تراشه های رادیویی برای MICA2 motes و CC2420، یک تراشه رادیویی برای IEEE 802.15.4، می باشد (۵) ساینز یک پکت لایه application، ۶۴ بایت است، (۶) پهنای باند لایه مک 2Mbps است، و (۷) برای S-MAC، اندازه یک بسته داده ۵ بایت، اندازه بسته SYNC، ۹ بایت می باشد، و اندازه بسته های اطلاعاتی کنترل دیگر مانند CTS، RTS، و ACK، ۱۰ بایت است. بسته SYNC توسط هر یک از گره ها هر ۱۰ سیکل کاری فرستاده شده است. به طور پیش فرض، ۳۰ گره را به طور تصادفی در ۸۰۰×۸۰۰ متر مربع منطقه توزیع شده است. ۱ گره سینک و ۵ گره منبع وجود دارند. تقویت گره منبع ۳ بسته

لایه application در هر ۱۰ ثانیه تولید می کنند. برای هر سناریو، ۱۰ توپولوژی تولید می شود و نتایج به دست آمده روی ۲۰ شبیه سازی، به جز همانطور که اشاره شده است میانگین گیری شده است.

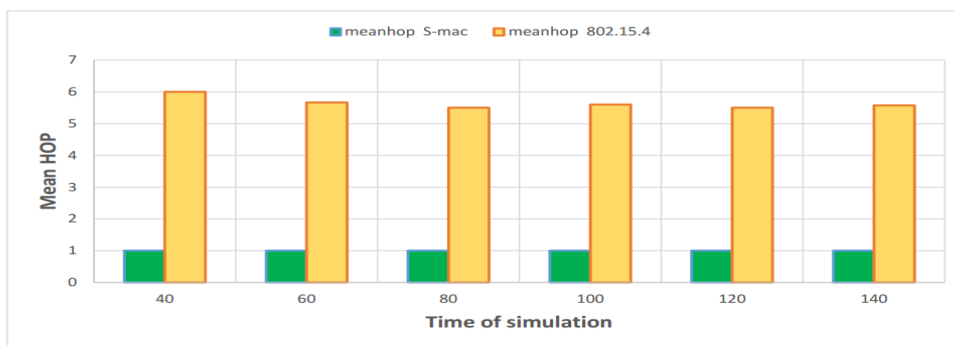
### ۵- نتایج

Time	Delay S-mac	Delay 802.15.4
40	19581.4	14804.6
60	30284.4	26484.7
80	40524	29344.7
100	50672.2	25163.3
120	59516.1	27326.1
140	69240.3	38814.6



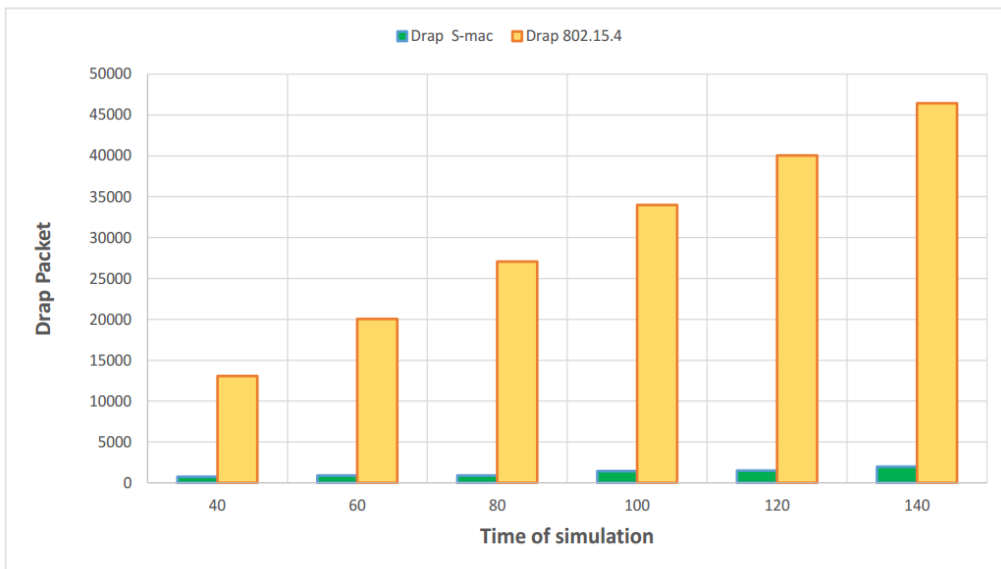
شکل ۲- تاخیر

Time	meanhop S-mac	meanhop 802.15.4
40	1	6
60	1	5.6667
80	1	5.5
100	1	5.6
120	1	5.5
140	1	5.5714

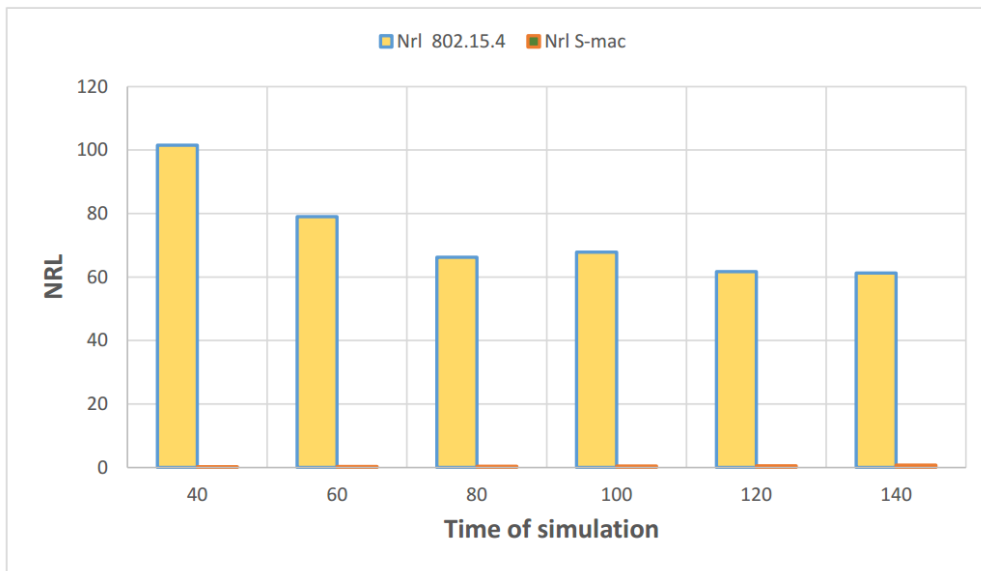


شکل ۳- میانگین استفاده از تعداد هاپ

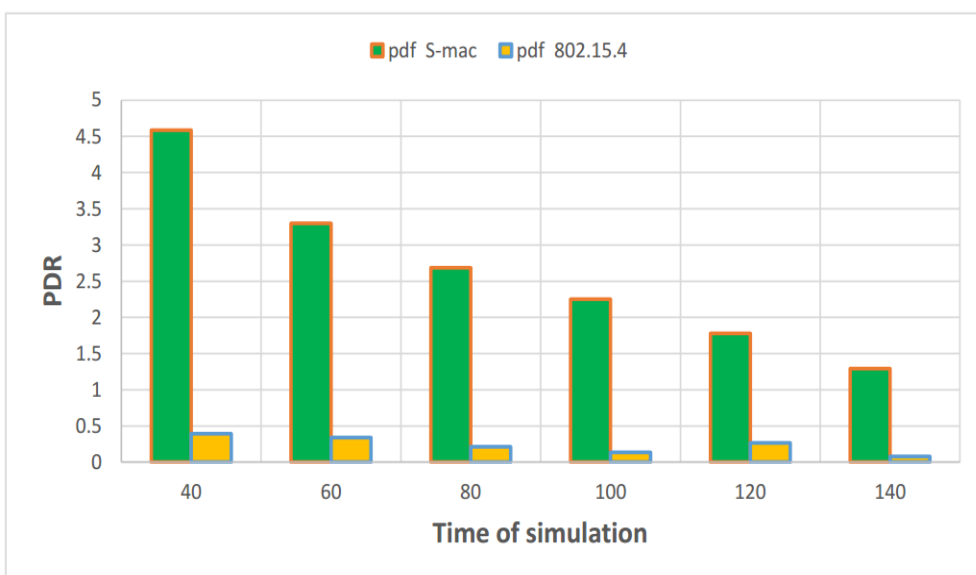




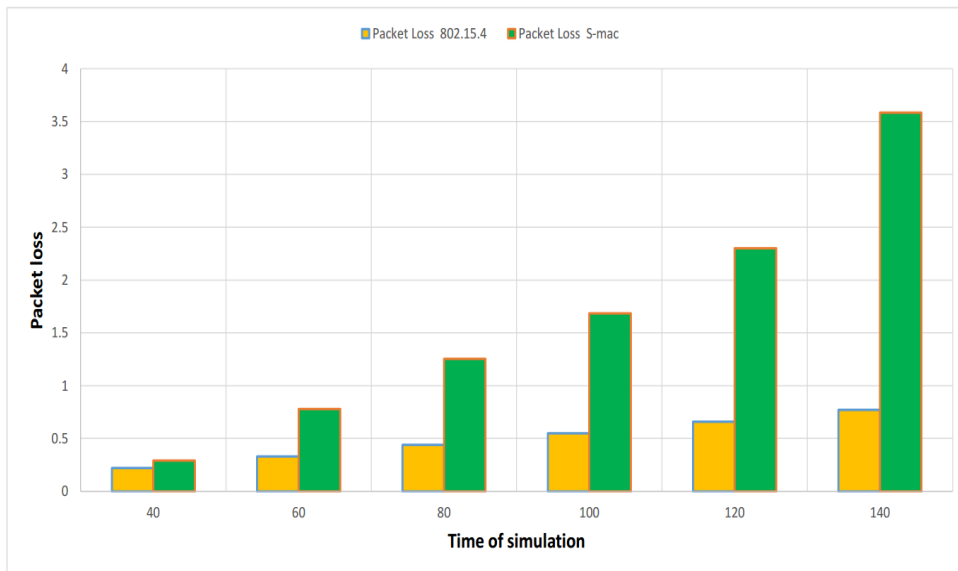
شکل ۴- مقایسه DRoP در پروتکل SMAC و IEEE 802.15.4



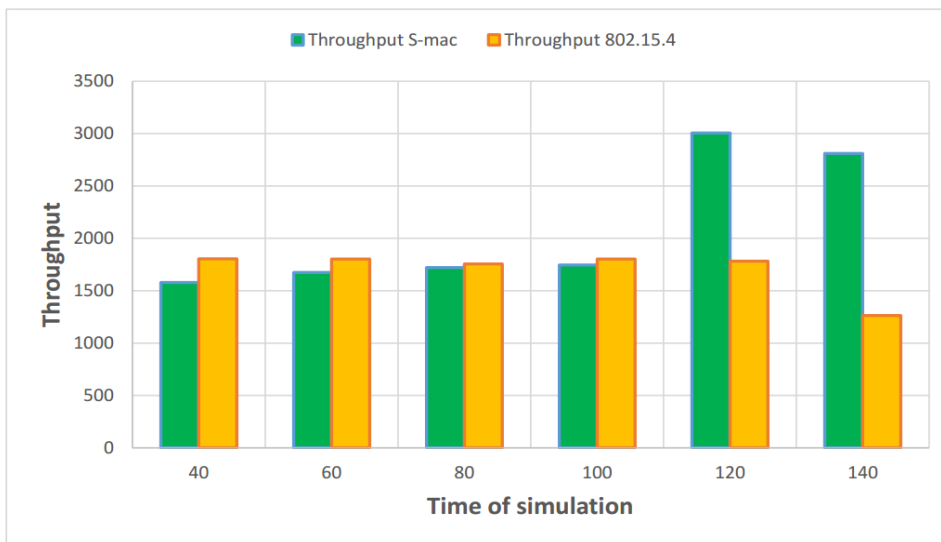
شکل ۵- نرخ نرمال سازی بار مسیر



شکل ۶- نرخ تحویل بسته



شکل ۷- مقایسه عملکرد پروتکل 802.15.4 و SMAC در packet loss



شکل ۸- مقایسه توان عملیاتی دو پروتکل 802.15.4 و SMAC

### ۶- نتیجه گیری

همانطور که در نتایج دیده می شود در شکل ۱ میانگین تأخیر مدل پیشنهادی را تایید و نمایش می دهد، هرچقدر زمان شبیه سازی بیشتر می شود تأخیر در هر دو پروتکل رشد داشته لیکن در زیگیبی این رشد کندتر و در SMAC سریعتر می باشد که این موضوع بیانگر عملکرد بهتر زیگیبی از لحاظ تأخیر می باشد. می دانیم هر چقدر از تعداد هاپ های کمتری استفاده کنیم کارایی و امن بودن شبکه بیشتر می شود. این استدلال به این دلیل است که امکان دارد در طول مسیر هاپ های خراب وجود داشته باشد، هرچقدر از هاپ های کمتر استفاده کنیم ضریب خطا پایین می آید شکل ۳ بیانگر کمترین میانگین استفاده از تعداد هاپ را در مدل پیشنهادی را نمایش می دهد. ضمن تحلیل نمودار کمترین طول قدم خواهیم دید که SMAC در تمام طول شبیه سازی دارای طول قدم های کمتری می باشد و در این قسمت موفق تر از زیگیبی عمل نموده است. پروتکل SMAC از لحاظ DROP مطابق شکل ۴ در وضعیت بهتری قرار دارد و برخلاف پروتکل 802.15.4 که در آن DROP به صورت خطی افزایش می یابد 802.15.4 دارای

پایداری و قابلیت اطمینان بیشتری می‌باشد. طبق شکل ۷ از لحاظ توان عملیاتی تقریباً هر دو پروتکل یکسان عمل می‌کنند البته مشاهده می‌شود که عملکرد پروتکل SMAC برای زمان‌های بلند مدت بهتر از پروتکل 802.15.4 می‌باشد.

#### ۷- منابع

1. Modeling and Performance Analysis for Duty-cycled MAC Protocols with Applications to S-MAC and X-MAC Ou Yang, Student Member, IEEE, Wendi Heinzelman, Senior Member, IEEE, May 23, 2011.
2. IMPROVEMENT OF ZIGBEE ROUTING PROTOCOL INCLUDING ENERGY AND DELAY CONSTRAINTS, Najet Boughanmi and YeQiong Song , LORIA – INPL Campus scientifique, BP239 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France -2006.
3. DPDSN: Detection of packet-dropping attacks for wireless sensor networks, Vijay Bhuse, Student Member, IEEE, Ajay Gupta, Senior Member, IEEE, and Leszek Lilien, Senior Member, IEEE-2003.
4. Sleeping Strategies for Wireless Sensor Networks by Ou Yang Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy, University of Rochester Rochester, New York 2011.
5. Wakeup Strategies in Wireless Sensor Networks , Electrical and Computer Engineering Department University of California, San Diego, CA 92093.
6. The Sleep Control Strategy for Wireless Sensor Networks , Shih-Jung Wu, Kuo-Feng Huang Department of Innovative Information and Technology, Tamkang University, Taiwan ,2010.