

زیبای خفته:

ارتباط موثر برای زمان بندی گره

چکیده

پیاده سازی شبکه ی سنسور بی سیم (WSN) رایج گره های بیشتری از تعداد گره های مورد نیاز برای حس کردن دقیق پدیده ی مطلوب استفاده می کند. این زیاده روی می تواند از طریق روشن کردن تنها زیر مجموعه ای از گره ها در هر لحظه (زمان بندی گره) و به خواباندن گره های باقی مانده، مورد استفاده قرار گیرد. این موضوع طول عمر شبکه را به طور کارآمد زیاد می کند. طرح های زمان بندی گره علاوه بر پوشش سنجش باید اطمینان حاصل کنند که (i) شبکه متصل باقی می ماند و (ii) زمان مورد نیاز برای بیداری کامل پشته ی پروتکل بعد از خوابیدن، حداقل می ماند. ما زیبای خفته را ارائه می کنیم، یک پروتکل جمع اوری داده با بازدهی بالا که به طرح های زمان بندی گره در هر دو جنبه کمک می کند.

زیبای خفته از یک ارتباطات اولیه ی شیار بندی و به دقت همگام شده استفاده می کند که در آن یک گره رادیوی خود را برای اکثر زمان ها به جز در شیاریهایی که نیاز دارد تا ارتباطات موفق را پیش بینی کند، خاموش می نماید. علاوه بر این، یک مکانیزم کارآمد شناسایی همسایه نیز در نظر گرفته شده است که اطلاعات توپولوژی (والدین بالقوه) جزیی اما کافی برای جلوگیری از تقسیم بندی شبکه فراهم می کند. علاوه براین، زیبای خفته یک روش تقریب انحراف کلاک جدید اما ساده را به کار می برد. این روش در دوره های زمانی بلند، با دقت بالا همگام زمانی باقی می ماند (کمتر از 500 میکرو ثانیه حتی بعد از 45 دقیقه خوابیدن) این روش، زمان اتلاف شده در همگام

سازی مجدد شبکه در بین راندهای جمع اوری داده را حداقل می نماید. ما از طریق آزمایشاتی روی دو بستر آزمایشی تصدیق کردیم که زیبای خفته چرخه ی وظیفه را در مقایسه با روش های مدرن، تا فاکتوری از 3 کاهش می دهد، در حالیکه نرخ های انتقال مشابهی را بدست می آورد.

1. مقدمه

ارتباطات با انرژی موثر و جمع اوری داده به طور خاص حتی بعد از یک دهه تحقیق هنوز در جامعه یک جام مقدس است. قسمتی از این چالش این است که پیاده سازی WSN رایج شامل گره هایی بیش از گره های مورد نیاز برای سنجش دقیق پدیده ی مطلوب می شود. از سوی دیگر، این مزاد حفاظی در برابر گره ها و پیوند های خراب است اما از سوی دیگر منجر به استفاده ای ناموثر از انرژی می شود. طرح های زمان بندی گره، جنبه ی دوم را توسط فعال نگه داشتن تنها یک زیرمجموعه ی (حداقل) در هر لحظه مورد خطاب قرار می دهد. آنها این کار را بوسیله ی گزینش نماینده از گروه سنجش رایج انجام می دهند. یک گروه سنجش رایج می تواند در زمان های پیش رو شکل گیرد: i یک سطح یا هدف رایج از طریق مجموعه ای از گره شناسایی شود یا ii داده ی تولید شده بوسیله ی گره ها، سطح بالایی از همبستگی نشان دهد به طوریکه داده ی سنجش شده برای چندین گره می تواند با استفاده ی داده از یک گره منفرد بازسازی شود. در هر دو حالت، گره (ها) نماینده از هر گروه ملزوم هستند تا در طول راند جمع اوری داده فعال باشند. بر مبنای سناریوی کاربرد، تنها یک یا چندین گره نماینده (مانند پوشش k) به صورت فعال گزینش می شوند. گره ها با تغییر وظایف در طول راندها انرژی را ذخیره می کنند و طول عمر شبکه را افزایش می دهند.

به عنوان یک مثال، شکل 1 شبکه ای از شش گره را نشان می دهد که در آن تنها یک زیر مجموعه از گره های فعال تحت رژیم گروه سنجش رایج کافی می باشد. شکل 1b یکی از چنین ترکیباتی را نشان می دهد. هر چند اگر گره های $\{3,4,5\}$ به جای $\{1,4,5\}$ شده باشند، همه ی گروه ها هنوز ارائه می شوند اما شبکه از مصرف کننده جدا می شود و این کار دریافت داده ی سنجش شده را غیر ممکن می کند.

با ارائه ی چنین گروه های سنجش رایج و توپولوژی شبکه از یک WSN، گزینش مجموعه ی حداقلیِ گره های فعال که (a) ارتباط گره های فعال به مصرف کننده و (b) ارائه ی هر گروه بوسیله ی گره (ها) ی فعال را تضمین می کنند، به صورت NP-سخت نشان داده می شوند. بنابراین، تعدادی از الگوریتم های ادراکی در ادبیات علمی در جهت گزینش نزدیک مجموعه های بهینه ی گره های فعال ارائه شده اند که محدودیت های بالا را ارضا می کنند. بعد از گزینش گره های فعال برای یک راند (معمولا توسط گره مصرف کننده ی متمرکز شده)، داده ی سنجش شده از این گره ها هنوز ملزوم به جمع اوری کارآمد است. این موضوع چالش اصلی که ما در این مقاله خطاب می دهیم است.



شکل 1: (a) آرایش با چندین گروه سنسور همبستگی (علامت گذاری شده با رنگ) و (b) پوشش کل محدوده ی نظارت از طریق یک زیرمجموعه از گره های متصل شده ی فعال

A. انگیزه

استراتژی برنامه ریزی گره باید براساس سناریوی کاربرد استنتاج شود (برای مثال، پوشش k ، پوشش نقطه، همبستگی فضایی و غیره). الگوریتم های برنامه ریزی گره که زیرمجموعه ی گره های فعال را انتخاب می کنند، دو استراتژی کلی را دنبال می کنند. یا مجموعه ی گره های فعال در لایه ی کاربرد را انتخاب کرده و مسیر یابی را به پروتکل های اساسی محول می نمایند و یا گزینش و مسیر یابی گره را به صورت مشترک اجرا می کنند. در حالت اول، یک پروتکل مسیر یابی پیشرفته ای که باید علاوه بر گره های فعال گزینش شده از تعداد حداقلی گره های رله استفاده کند، ملزوم است. در حالت دوم، راه حل لایه ی متقابل به به دقت با طرح زمان بندی خاص تزویج شده است. این امر باعث می شود تا این راه حل برای دیگر استراتژی های زمان بندی غیر قابل استفاده ی مجدد شود.

بنابراین، نیازی برای الگوریتم جمع آوری داده ی کلی که عملیات شبکه با بازدهی بالا را بدون توجه به سیاست زمان بندی گره تضمین کند، وجود دارد.

B. رویکرد راه حل و چالش ها

در این کار، زیبایی خفته را ارائه می کنیم، یک پروتکل ارتباطاتی با انرژی کارآمد برای سناریوهای زمان بندی گره. این پروتکل از یک عملیات شیار بندی و به دقت همگام شده در میان گره ها استفاده می کند و در زمانی مصرف کننده آن را ملزوم می کند (بر مبنای ملزومات کاربرد)، مکانیزمی کشش بنیان، برای جمع آوری داده از هر گره فعال را به کار می برد. این موضوع، زمان روشن بودن بسیار فشرده ای از گره ها را تضمین می کند و زمان خاموش بودن در بین دو راند سنجش را افزایش می دهد. عملیات کارآمد زیبایی خفته در مکانیزم سیلاب سریع فراهم شده بوسیله ی گلوسی (Glossy) مسیر یابی می شود. همانند LWB، که آن هم بر مبنای گلوسی است، زیبایی خفته شامل یک بخش مرکزی است که اتفاق رخ داده در هر شیار را کنترل می نماید. به منظور کارآمد و منعطف بودن، مکانیزم های کنترل در مصرف کننده اجرا می شوند و طراحی شده اند تا چالش های پیش رو را مورد خطاب قرار دهند. اول، هر چقدر که ناکارآمدی ارتباطات چند هاپی در WSN که بوسیله ی ارسال مجدد و در هر هاپ ایجاد شده تاخیر یابد، پیامدهای این عوامل نیز باید محدود شود. علاوه بر این، در هر شیار ارتباطات، تنها آن گره هایی که روند مسیر یابی را فراهم می کنند باید در نظر گرفته شوند در حالیکه تاخیر و ارسال مجدد حداقل را نگه داری کنند. دوم، هر چقدر که توپولوژی شبکه در طول زمان تغییر کند (برای مثال، ناشی از نوسانات کیفیت پیوند)، مصرف کننده باید برای این موضوع به حساب آید و تضمین کند که در هر زمان مسیری معتبر از هر گره فعال به مصرف کننده وجود دارد. چالش، فراهم کردن شناسایی همسایه در کمترین هزینه است. سوم، از آنجایی که کارآمدی زیبایی خفته ناشی از عملیات های فعال شونده با زمان است، لذا ملزوم می باشد تا همگام شدگی دقیقی میان گره ها حفظ شود. این اتفاق باید حتی در زمانی که گره ها برای مدت زمانی طولانی به خواب می روند نیز برقرار شود. به طور خاص، طرح های زمان بندی گره استاندارد فرض می کنند که وقتی گره ها بیدار می شوند، می توانند بلافاصله به شبکه ملحق شوند.

بیدار کردن پشته ی پروتکل کامل، در واقعیت می تواند زمان بر باشد. بنابراین، مازاد حداقل/صفر باید در زمانی که یک گره پس از مدتی طولانی از غیر فعال بودن رادیو مجدداً به شبکه ملحق می شود، تضمین گردد.

C. مشارکت ها

زیبای خفته به صورت کارآمد به چالش های ذکر شده در بالا هجوم می برد. مخصوصاً، روش های مدرن را با مشارکت های زیر بهبود می بخشیم:

1) جمع آوری داده ی کارآمد برای زمان بندی گره: طراحی و ارزیابی پروتکل ارتباطی را فراهم کرده ایم. این پروتکل زمان بندی سیلاب سریع و خاموش-روشن را در جهت پشتیبانی از سناریوهای پشتیبانی تجمیع می کند. لازم به ذکر است که تنها یک مجموعه ی کوچک و عامل از گره ها در این سناریوهای پشتیبانی ملزوم هستند تا داده ی خود را به مصرف کننده گزارش دهند. ما طراحی و ارزیابی پروتکل ارتباطی را بوسیله ی جداسازی ملاحظات گزینش گره و جمع آوری داده انجام داده ایم. با توجه به این موضوع، زیبای خفته یک زیر لایه ی ارتباطی شیار بنیان و کارآمد است که طرح های مختلف گزینش گره را پشتیبانی می کند.

2) شناسایی همسایه ی کارآمد: شناسایی همسایگی، سرویسی ملزوم برای بسیاری از کاربردهای WSN است. ما یک مکانیزم پارازیت همگام شده پیشنهاد می دهیم که کارآمدانه به هر گره برای یادگیری در مورد همسایگی هایش کمک می کند. این کار بوسیله ی فعالیت رادیویی حداقل می باشد. این کار از طریق داشتن گره هایی که تنها روی والدین بالقوه تمرکز کرده اند و به روزرسانی اطلاعات به جای شناسایی آن از ابتدا در هر دفعه حاصل می شود. این موضوع به الگوریتم های زمان بندی گره ای که در مواجهه با اتصالات و پویایی شبکه هستند کمک می کند.

3) همگام سازی زمانی دقیق و طولانی مدت: بیشتر بازدهی زیبای خفته ناشی از این حقیقت است که عملیات ها به دقت همگام سازی شده اند. گلوسی (که در این سبک ارتباط پیشقدم شد) برای مقابله با انحرافات کلاک سخت افزار در گره ها، از شارش های سیلابی مکرر وسیع شبکه استفاده کرده است که مقدار انرژی چشمگیری را مصرف

می کند. به منظور جلوگیری از این مزاد، الگوریتم تقریب کلاک ساده ای را پیشنهاد می دهیم که گره ها با آن (حتی بعد از 45 دقیقه) هنوز در کرانه ی خطای 500 us همگام می شوند.

ادعای خودمان را از طریق ارزیابی عملکرد زیبای خفته روی دو بستر آزمایش عمومی (ایندریا و فلاکلب) و در تنظیمات محلی اثبات کرده ایم. با دو پروتکل ارتباطی بر پایه ی گلوسی LWB و گزینش فرستنده مقایسه کرده ایم که کاهشی سراسری در مصرف انرژی را نشان می دهد.

2. پیش زمینه

در این بخش، پروتکل های جمع آوری داده ی مدرن را با توجه به محدودیت هایشان برای زمان بندی گره مرور می کنیم. پروتکل درخت جمع آوری (CTP) یک پروتکل جمع آوری داده ی تطبیقی است که درخت پوشا را ساخته و حفظ می کند. این پروتکل نرخ ارسال بسته ی خوبی را برای آرایش های متعددی فراهم می کند اما تحت ترافیک افزایش یافته و دینامیک شبکه کم می شود. به منظور مورد خطاب قرار دادن محدودیت دوم، لندزیدل (Landsiedel) و دیگران یک پروتکل جمع آوری داده ی فرصت طلب با نام ORW را پیشنهاد کردند. این پروتکل بسته ها را تا اولین گره قابل دسترسی از یک مجموعه از ارسال کننده های ممکن مسیر یابی می کند. اگرچه ORW در جنبه های متعددی بهتر از CTP عمل می کند، اما مزاد مقیاس های نگهداری مسیر یابی را به اشتراک می گذارد. این کار خصوصا در زمانی که مجموعه های گره روشن و خاموش می شوند، بازدهی را تعدیل می کند.

اخیرا، تعدادی از پروتکل های ارتباطی همگام همه به همه ظهور کرده اند که بازدهی شان به میزان بازدهی پروتکل های سنتی بر پایه ی درخت زیاد می باشد. بسیاری از این پروتکل ها از مکانیزم سیلاب سریع گلوسی بهره می برند. این مکانیزم را به تفصیل توضیح خواهیم داد چون زیبای خفته نیز بر مبنای آن است. در گلوسی، گرهی خاص با نام آغاز گر (گره چاله)، سیلاب را در حالتی که با زمان تحریک می شود، آغاز می نماید. زمان کل سیلاب در مقایسه با سیلاب سنتی بسیار کوچک است و گلوسی پدیده ای با نام تداخل سازنده (CI) را استفاده کرده است. هنگامی که بیش از یک گره در زمانی مشابه، دقیقا محتوی یکسانی را ارسال کرده باشد (در اختلاف زمانی قابل تحمل، معمولا

نصف نماد دوره ی تناوب)، سیگنال ها به طور سازنده در گیرنده مداخله می کنند. به عنوان یک نتیجه، گیرنده می تواند نماد ها را رمز گشایی کند. در گلوسی، هر گره رادیوی خود را درست پیش از آغاز سیلاب جدید و بعد از اینکه آغازگر، بسته را ارسال نماید، روشن می کند. در ادامه آنها بسته را فوراً ارسال می کنند (با همان تاخیر پردازش و کلید زنی) که باعث تداخل سازنده در گره های هاپ ثانویه از آغازگر می شود. گره های هاپ ثانویه نیز پس از آن بسته را فوراً ارسال می کنند. این پردازش به صورت پیامد چندگانه ادامه می یابد و کل شبکه در چندین میلی ثانیه پر می شود. گره ها رادیوی خود را بلافاصله بعد از سیلاب خاموش می کند. به یاد داشته باشید که به عنوان نتیجه ای برای مشارکت در سیلاب، گره ها به طور ضمنی در زمانی که بسته را دریافت می کنند با آغازگر همگام می شوند.

پروتکل باس بیسیم با توان کم (LWB) سیلاب های گلوسی را با اضافه کردن مولفه های متمرکز شده به ارتباط عمومی همه به همه ی ابتدائی تبدیل می کند. این کار یک تعیین زمان بندی سراسری که می تواند یک سیلاب را آغاز کند را در شیاری خاص ایجاد می نماید (برای مثال ارسال داده). LWB با مشارکت کردن همه ی گره ها در هر سیلاب، کاملاً توپولوژی اگنوستیک است و نیاز برای بدست آوردن / نگهداری اطلاعات مسیر یابی را از بین می برد، این کار به LWB اجازه می دهد تا به صورت زیرلایه ی ارتباطی کارآمد و مقاوم عمل کند. لازم نیست تا برای جمع آوری داده، پیام ها در همه ی گره ها تقویت شوند، این مسئله فضایی برای بهینه سازی ایجاد می کند. برای مثال، کارلسون (Carlson) و دیگران یک مکانیزم گزینش ارسال کننده را برای LWB تشریح کرده است که تنها در درگیر کردن مجموعه ای کوچک از گره ها بین منبع و چاله کاملاً موثر است. این راه حل برای زمان بندی گره کافی نیست زیرا (i) گره ها نمی توانند برای دوره های زمانی بسط داده شده بدون از دست دادن همگامی به خواب روند و (ii) زمان بندی شیاریها را برای گره های غیر فعال ذخیره می نماید، این کار باعث می شود تا همه ی گره ها به خاطر معتطل ماندن، انرژی را اتلاف کند. این ملاحظات ما را برانگیخت تا پروتوکلی جدید را طراحی کنیم

3. نگاه اولیه به زیبای خفته

تعریف خود از زیبای خفته را با نگاهی مفهومی که در شکل 2 نشان داده شده شروع می کنیم. چاله همه ی عملیات ها را با پر کردن متناوب شبکه با بسته های همگام هماهنگ می کند. زمانی که یک گره چنین بسته ی همگام سازی ای را دریافت کرده باشد، می تواند با درخواست دادن شیار خودش در زمان بندی سراسری به شبکه ملحق شود. این گره در ادامه می تواند داده ی سنجش شده اش را در هر فاصله ی زمانی ورود بسته به چاله گزارش دهند(1). بهر حال این گره چنین کاری انجام می دهد اگر یکی از گره های فعال مشخص شده بوسیله ی چاله در هر فاصله ی زمانی زمان بندی شده باشد (S). چاله این مجموعه و یک زمان بندی همراه با بسته های همگام را منتشر می کند. گزینش مجموعه ی متصل شده ی گره های فعال بر مبنای اطلاعات همسایه ی تک هاپی پایه (والدین محتمل) است که بوسیله ی گره ها و از طریق پارازیت محلی جمع آوری شده اند. برخلاف شیار همگام، که در آن همه ی شیار ها در سیلاب مشارکت می کنند، تنها مجموعه ی گره های فعال در طول شیارهای داده در سیلاب مشارکت می کنند. این سیلاب حداقل در مقایسه با دیگر پروتکل های گلوسی بنیان، باعث تضمین بازدهی انرژی بالاتری می شود.

A. اهداف طراحی

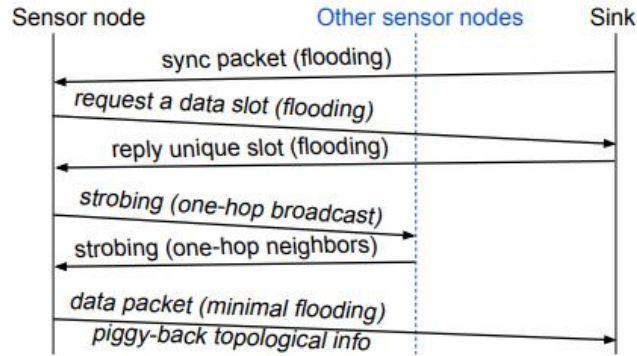
عدف فراگیر برابر با مقدور سازی گره های غیر فعال به خوابدن برای تناوب های زمانی طولانی شده است در حالیکه از سیلاب کارآمد و سریع اولیه ی گلوسی بهره می برد. این هدف به دو هدف طراحی پیش رو می رسد. اول ، یک مکانیزم شناسایی همسایه ی کارآمد نیاز داریم تا اطلاعات جزئی اما کافی توپولوژی را جمع آوری کند. به طور خاص، علاقه مندیم تا لیست هایی از والدین بالقوه ی الگوریتم گزینش گرهی که در چاله راه اندازی می شود را فراهم کنیم به طوریکه هر طرح زمان بندی گره بتواند در شبکه به کار گرفته شود. دوم، طرح همگام سازی گرهی را می طلبیم که به گره ها امکان آفلاین بودن برای تناوب زمانی طولانی مدتی را بدهد در حالی که سطح مطلوب

همگام سازی دقیق را حفظ نماید. به همین دلیل است که ملزومات ارسال مکرری بسته های همگام سازی بوسیله ی پروتکل گلوسی بنیان باید با روش که در فواصل زمانی بزرگتر (و حتی غیر منظم) ی کار کند، جایگزین شود.

B. معماری

عملیات زیبای خفته به دو فاز اصلی تقسیم می شود. در فاز اول، که خودراه انداز چکمه ای نامیده می شود، گره ها از طریق همگام سازی با چاله و در خواست دادن برای شیارهای داده به شبکه ملحق می شوند. در طول این فاز، گره ها پارامترهای تغییر کلاک خودشان را تقریب می زنند و همسایگی محلی را در جهت شناسایی لینک هایی با کیفیت بالا با گره هایی که می توانند روند مسیر یابی تا چاله را فراهم کنند، بررسی می نماید. این اطلاعات توپولوژیکی از طریق سوار کردن بسته های اده به چاله رله می شوند. در فاز دوم که حالت ماندگار نام دارد، چالهِف مجموعه ای جدید از گره های فعال در هر تناوب زمان بندی را گزینش می کند. وقتی گزینش انجام شد، و همه ی گره ها در شبکه مرتبط شدند، تنها گزینش شده ها تا زمان راند زمان بندی بعدی فعال می مانند. هنگامی که راند به پایان برسد، همه ی گره ها مجددا بیدار می شوند و اطلاعات توپولوژی نوی سازی می گردد تا پیش از اینکه چاله مجموعه ی جدیدی از گره های فعال را گزینش کند، با هر تغییری در شرایط شبکه سازگار شود.

به منظور بدست آوردن ارتباطات داده ی کارآمد، زیبای خفته نیازمند گره هایی است تا همان طور که در بخش V مشخص شده، فعالیت های ثانویه ی مختلفی را اجرا کنند، برای مثال شناسایی همسایگ، تقریب انحراف و غیره. این فعالیت های ثانویه اگر به صورت کارآمد انجام داده نشده باشند، می توانند منجر به مصرف انرژی بسیار بیشتری از طرف گره ها شود. بنابراین، چاله یک فراچارچوب را تعریف می کند که میانگین چرخه ی وظیفه را با مدیریت دقیق رادیو در زمان همه ی گره ها کاهش می دهد.



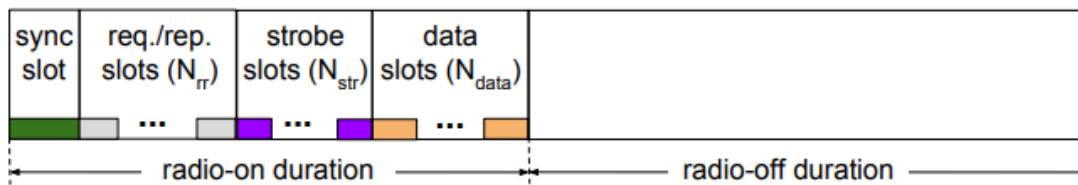
شکل 2: بررسی مفهومی زیبای خفته

C. فراچارچوب به عنوان بلوک ساختمانی

همان طور که در شکل 3 نشان داده شده، برای فراهم نمودن فعالیت های متنوع، یک فراچارچوب در زیبای خفته می تواند متشکل از چهار نوع مختلف از شیاهای ارتباطی شود. یک شیار از طول کافی است تا یک بسته را از یک گره آغازگر تا همه ی گره های دیگر پر کند (این گره آغازگر سیلاب را از این شیار آغاز می کند) که شمال زمان برای پردازش مفاهیم در گیرنده ها می شود. زمان کل فراچارچوب به ترتیب در طول خودراه انداز چکمه ای و فضای ماندگار برابر با 1 و T ثانیه است.

1) شیار همگام سازی: این شیار مهم ترین شیار در چارچوب است و به عنوان سرآمد فراچارچوب عمل می کند. این شیار برای همگام سازی (مجدد) گره ها با چاله به کار می رود. بنابراین تنها چاله می تواند انتقال از بسته ی همگام سازی را آغاز نماید و تنها یک شیار همگام در فراچارچوب وجود دارد. اگرچه که همگام سازی بر مبنای زمان دریافت بسته ی همگام سازی اجرا می شود اما محتوی این بسته طول دیگر شیارها را مشخص می کند (که باعث می شود از ایجاد یک زمان بزرگ شیار اجتناب شود) علاوه بر این، یک بسته ی همگام سازی، لیست گره های فعالی که بر مبنای سیاست زمان بندی گره گزینش می شوند را نیز منتشر می کند. چگونگی پردازش شدن بسته ی همگام سازی برای انتخاب مجموعه ی فعال گره ها در بخش V-A بحث می شود.

2) شیاریهای پاسخ/درخواست (RR): هر گره ملزوم است تا شیاری داده ای در جهت ارسال داده اش به چاله بدست آورد. شیاریهای RR برای درخواست دادن یک شیاری داده (شیاریهای RR با شماره ی فرد) و اعطای متعاقب (شیاری RR با شماره ی زوج) استفاده می شوند اگر دو گره به طور همزمان در شیاری یکسان درخواست دهند، چاله در اکثر زمان ها به طور موفقیت آمیز قادر به دریافت یک پیام درخواست منفرد است. این اتفاق یا ناشی از اثر گیراندازی حذف است یا یکی از گره های مخالف در مقایسه با دیگران حداقل یک هاپ نزدیک تر است.



شکل 3: ساختار فراچارچوب (SF) که شامل مدت زمان روشنی و خاموشی رادیو می شود. به یاد داشته باشید که

همه ی بخش های نشان داده شده نیاز ندارند تا حاضر باشند (شکل 4)

3) شیاریهای استروب: همان طور که در بخش IV-B تشریح شده، این شیاریها برای شناسایی حضور گره برای گره های همسایگی اش استفاده می شود. تعداد شیاریهای استروب برابر با تعداد گره های در شبکه است تا از برخورد جلوگیری کند.

4) شیاریهای داده: هر گره به شیاری داده ی منحصر به فردی تخصیص داده می شود تا داده اش که با استفاده از شیاری RR بدست آمده را انتقال دهد. علاوه بر این، لیستی از گره های والد بالقوه که با استفاده از بسته های استروب شناسایی شده اند نیز در بسته ی داده حمل می شوند. این مسئله باعث فراهم آمدن نگرش توپولوژی جزئی اما کافی شبکه تا چاله می شود.

4. خود راه انداز چکمه ای

گره ها در طول خودراه انداز چکمه ای، فعالیت های یادگیری مختلفی را انجام می دهند که برای بهینه سازی عملیاتی و کاهش چرخه ی وظیفه در طولانی مدت به کار برده شده اند. حتی در طول خودراه انداز چکمه ای هم

گره ها به محض کامل کردن سطح یادگیری مورد نیاز، شروع به کم کردن زمان روشن بودن رادیو می کنند. علاوه بر این، مدت زمان خودراه انداز چکمه ای در مقایسه با مدت زمان حالت ماندگار که می تواند برای ماه ها (اگر سالها نباشد) طول بکشد، بسیار ناچیز است (تنها چند دقیقه). سه کار اصلی پیش رو در طول خودراه انداز چکمه ای اجرا می شود.

A. ملحق کردن گره

از آنجایی که همه ی ارتباطات همگام هستند و با زمان فعال می شوند، لذا هر گره ای نیاز دارد تا خودش را پیش از شروع انتقال با چاله همگام کند. بنابراین، بعد از اینکه یک گره روشن می شود، به بسته های همگام گوش میدهد. به محض اینکه گره چنین بسته ای را دریافت کند، با شبکه همگام می شود و درباره ی ساختار فراچراچوب یاد میگیرد. همان طور که پیش از ایت ذکر شد، یک گره برای شیار داده درخواست می دهد و به ترتیب در شیاهای فرد و زوج RR پاسخ می گیرد. وقتی که یک گره یک شیار را بدست آورد، دیگر درخواست نمی فرستد و فرایند الحاق را تکمیل می نماید. بهر حال، به مشارکت در همه ی شیاهای RR دیگر ادامه می دهد تا به انتقال دادن پیام های درخواست/پاسخ به گیرنده ی مورد نظر کمک کند.

واضح است که اگر تعداد شیار های RR کم باشد و تعداد گره های درخواست کننده زیاد باشد، زمان زیادی طول می کشد تا هر گره، شیار داده ی تخصیص داده شده ای را دریافت کند. از سوی دیگر، اگر شیاهای RR بیشتری وجود داشته باشد، درخواست گره های بیشتری در مدت زمان کوتاهی برآورده می شود. این مسئله دلالت می کند که گره های مقدار انرژی قابل توجهی را در طول شیاهای RR تلف می کنند. زیبای خفته از رویکردی پویا برای انتخاب تعداد شیار های RR استفاده می کند.

انتخاب تعداد شیاهای پاسخ/درخواست: زیبای خفته در ابتدا با شیاهای RR 48 (حداکثری که در یک ثانیه قرار می گیرد) شروع می کند. بنابراین، در یک ثانیه، یک شیار داده حداکثر به 24 گره می تواند تخصیص داده شود. هنگامی که اکثر گره ها تخصیص داده شوند، تعدادی از شیاهای RR استفاده نشده بعث مصرف انرژی ناخواسته از

طرف گره ها می شوند. زیبایی خفته تعداد شیارهای RR استفاده شده در فراچارچوب کنونی را ذکر کرده و از این اطلاعات برای تنظیم تعداد شیارهای RR در فراچارچوب بعدی استفاده می نماید. بعد از گذشت مدت زمانی، تعداد شیارهای RR تا 2 کاهش می یابد. در آن زمان، اکثر گره ها (اگر همه نباشد) به طور موفقیت آمیز یک شیار داده بدست آورده اند. در ادامه چاله تصمیم می گیرد تا به حالت ماندگار برود (بخش V را ببینید).

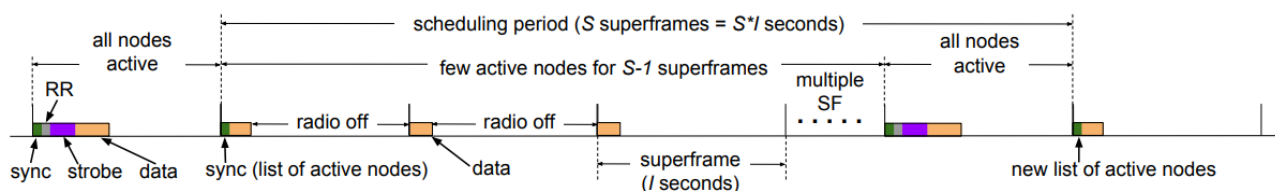
B. ساخت یک دیدگاه جزئی از شبکه

برای جمع آوری دیدگاه توپولوژی جزئی اما کافی از شبکه در چاله، گره ها لیستی از والدین بالقوه را با داده ی سنجش شده حمل می کنند. سنجش ETX برای شناسایی این والدین بالقوه از پرتو های ارسال شده در شیارهای استروب استفاده می شود. برای جلوگیری از برخورد میان گره ها، یک شیار استروب مجزا به صورت پیش رو به هر گره تخصیص داده می شود. زمانی که یک گره برای ارسال در t th شیار داده تخصیص داده شده باشد، از شیار استروب $(t + 1)^{th}$ استفاده می کند تا استروب های خودش را ارسال نماید (اولین شیار استروب برای چاله ذخیره شده است). در شیار آن، یک گره تعدادی ثابت از بسته های استروب پی در پی ارسال می کند. این بسته ها شامل مقدار کنونی ETX فرستنده می شود. یک گره همسایگی، کیفیت بین عداد بسته های استروب تقریب می زند و مقدار ETX خودش را به روز رسانی می کند. بر اساس مقادیر ETX همه ی همسایگی ها، گره گیرنده لیستی از گره های والد بالقوه را تدوین می کند. بر خلاف CTP، که گره در آن تنها یک گره منحصر به فرد را براساس بهترین (حداقل) مقدار ETX انتخاب میکند، زیبایی خفته لیستی از والدین را حفظ می کند. اگر لیستی بلند بالا از والدین با بسته های داده گزارش شده باشد، مقداری چشمگیر از انرژی توسط گره ها برای انتقال محموله های بزرگتر مصرف می شود. بنابراین، تنها لیست کوچکی از گره های والد با مقادیر ETX بهتر به چاله گزارش می شود. بدین ترتیب چاله می تواند اطلاعاتی جزئی اما کافی در مورد شبکه جمع آوری کند. با توجه به ارزیابی های تجربی ما (بخش VII را ببینید) استنباط کردیم که لیستی از پنج گره برای 97٪ موارد کافی است.

C. ارزیابی انحراف کلاک

از آنجایی که کلاک های ناپایدار برای دستگاه های کوچک تعبیه شده ی درونی در نظر گرفته شده اند، گره می تواند انحراف کلاک بیشتری را با توجه به گره مرجع (چاله) در تناوب زمانی کوچکی تجربه کند. روش های رایج برای تصحیح چنین انحرافات کلاکی باید بسته های همگام سازی را بیشتر ارسال کنند و گره های منفرد باید تلاش اضافی کنند، مانند روشن نگه داشتن رادیو برای مدت زمان بلند تری برای دریافت بسته های همگام سازی. این موضوع، مصرف انرژی بیشتری بوسیله ی گره ها را القا می کند. در زیبایی خفته، در طول خود راه انداز چکمه ای، بسته های همگام مکررا ارسال می شوند، به طوریکه نقاط داده ی به اندازه ای می توانند جمع اوری شوند تا انحراف کلاک را ارزیابی کنند. انحراف کلاک در فضای ماندگار بوسیله ی خود گره و بدون دریافت بسته های همگام استنتاج می شود و در بخش VI تشریح خواهد شد.

در طول خود راه اندازی چکمه ای، هر گره در شبکه فعال باقی می ماند و همان طور که در نرم افزار نشان داده شده، در هر فاصله ی زمانی ورود بسته، داده را می سنجد. بنابراین، فراچارچوب شامل همان تعداد شیارهای داده ای است که تعداد گره ها در شبکه می باشد. روند خود راه اندازی چکمه ای T ثانیه بعد از الحاق آخرین گره به شبکه خاتمه می یابد. این فرصت زمانی T باید طوری تنظیم شود که چاله زمان کافی برای کسب دیدگاه توپولوژیکی از شبکه داشته باشد و گره های معمولی بتوانند نقاط داده ی کافی برای تقریب زنی انحراف کلاکشان داشته باشند.



شکل 4: شیارهای استروب متناوب و انتشار مجموعه ی جدید گره های فعال با استفاده از ساختارهای فراچارچوب

متنوع در حالت ماندگار

5. عملیات فضای ماندگار

آغاز فضای ماندگار با گزینش مجموعه ای از گره های فعال مشخص شده است. چاله لیستی از گره های فعال را با استفاده از بسته ی همگام سازی منتشر می کند. چاله مجموعه ی جدیدی از گره های فعال را در هر تناوب زمان بندی انتخاب می کند. مقدار این تناوب تا $S*I$ ثانیه می شود (شکل 4). به یاد داشته باشید که این پروتکل به اندازه ی کافی منعطف است تا همان طور که در نرم افزار در نظر گرفته شده، پاسخ گوی هر مقداری از S و I باشد.

A. گزینش متناوب گره فعال

از آنجایی که گزینش گره فعال خارج از محدوده ی این مقاله است، لذا از الگوریتم زمان بندی گره موجودی در بالای زیبای خفته استفاده می کنیم تا مشخص کند که چگونه می تواند با چنین روش هایی ادغام شود. گروه های سنجش رایج معلوم فرض شده اند یا می توانند در زمان اجرا بر مبنای داده ی سنجیده شده شکل گیرد. در ادامه، گره های فعال بوسیله ی الگوریتم تعریف شده در 6 گزینش می شوند. لیست گره های فعال با استفاده از یک طرح بیتی در بسته ی همگام سازی منتشر می شوند. اگر (مجرد بر دریافت یک بسته ی همگام سازی) یک گره، یک صفر را در موقعیت شیار داده اش پیدا کند، به خواب می رود (گره خفته). گره های فعال به بیدار شدن در هر I ثانیه ادامه می دهند تا داده هایشان را بدون نیاز به هر گونه بسته ی همگام سازی ارسال کنند (شکل 4). به یاد داشته باشید که گره های فعال رادیوی خود را در شیار داده ی تخصیص داده شان روشن نگه می دارند تا داده ی مختص به خودشان را ارسال کنند. آنها رادیوی خود را در شیارهای داده ی همراه با دیگر گره های فعال نیز روشن نگه می دارند تا داده را از آنها ارسال کنند.

چاله بعد از فراچارچوب S ، گزینش گره های فعال را بازبینی می کند. از آنجایی که کیفیت پیوندها می توانند در طول این تناوب زمانی زیاد ($S*I$) تغییر کنند، لذا آخرین فراچارچوب مجموعه ها شامل شیارهای استروب می شوند تا پیوند ها را مجدداً ارزش گذاری کنند (شکل 4). همه ی گره ها به منظور کسب تصویری کامل از توپولوژی

شبکه (تغییر کرده) در فرایند ارزش گذاری کیفیت پیوند مشارکت می کنند. در نتیجه، گره های غیر فعال می توانند تنها برای S-1 فرا چارچوب بخوابند.

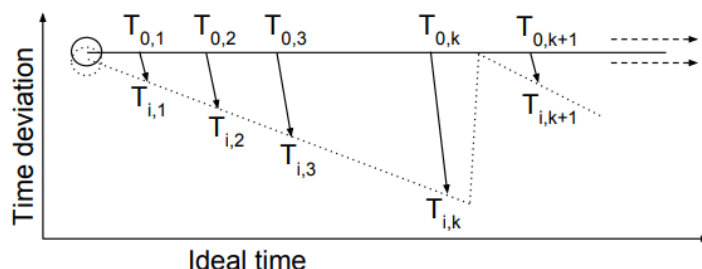
B. به روز رسانی لیست والدین

در طول خودراه اندازی چکمه ای، هر گره به همه ی شیار های استروب گوش می کند تا همسایه هایش را شناسایی کند، و ETX اش تا چاله را محاسبه می نماید. فرایندی مشابه می تواند در فضای ماندگار نیز دنبال شود اما در مورد شبکه های چند هاپی انرژی زیادی را اتلاف می کند. لازم به ذکر است که شبکه های چند هاپی متشکل از گره های بیشتری در مقایسه با همسایه ها می باشند. بنابراین، یک گره هر همسایه ی دیده شده در طول خود راه اندازی چکمه ای در طرح بیستی را ثبت می کند. این طرح بیستی در ادامه برای شنیدن گزینشی به شیارهای استروب والدین بالقوه در طول فضای ماندگار استفاده می شود. این بهینه سازی استروب هوشمند، به طور چشمگیری انرژی مصرف شده برای ارزش گذاری کیفیت پیوند را کاهش می دهد (شکل 10a را برای جزئیات ببینید). گره ها به منظور تضمین نرخ بالای دریافت بسته (RRR)

ف لیست والدین را بر مبنای ETX دسته بندی می کنند و 5 مورد برتر (کمترین ETX) را به عنوان والدین بالقوه انتخاب می کند (شکل 10b).

C. تصحیح انحراف کلاک

گره های فعال در همه ی فراچارچوب ها بیدار می شوند. این کار امکان همگام ماندن آنها را به سادگی فراهم می کند. گره های خفته در مقابل، ریسک بیدار شدن خارج از فاز را می پذیرند. این عمل به خاطر تغییر در کلاک هایشان در زمان الحاق مجدد به شبکه برای ارزش گذاری کیفیت پیوند بعد از (S-1) ثانیه است. این تغییر می تواند با زود بیدار شدن جبران شود اما چنین کاری موجب اتلاف انرژی می شود، پس زیبای خفته یک فرایند تصحیح را بر مبنای تقریب زنی پارامترهای انحراف کلاک اتخاذ می کند که در ادامه مورد بحث قرار می گیرد.



شکل 5: یک ارتباط متناوب تک مسیره بین چاله (خط ممتد) و گره حس گر (نقطه چین) و اثر تصحیح مکرر کلاک در گره حس گر در ثابت زمانی k th.

6. تقریب کم هزینه ی انحراف کلاک

سناریوی نشان داده شده در شکل 5 را در نظر می گیریم، که در آن چاله (خط ممتد) بسته ها را به گره های حس گر ارسال می کند. برای ساده سازی، پیوند ارتباطی تک هاپی را نشان داده ایم. بهر حال، در سناریو های چند هاپی، با توجه به تاخیر ارسال جمع پذیر بین هاپ ها، تفسیری مشابه در نظر گرفته می شود. به یاد داشته باشید انحراف زمان می تواند با توجه به چاله مثبت یا منفی باشد.

در ارسال k th، گره چاله زمان مرجع $T_{0,k}$ را ارسال می کند. این زمان بوسیله ی گره i در زمان محلی $T_{i,k}$ دریافت می شود. گره چاله، یک بسته را به گره محلی i در هر δT برای طول زمان کل ΔT ارسال می کند. لازم به ذکر است که در ΔT ، k انتقال رخ می دهد. ذکر این مورد که ارتباط بین گره ها در فواصل زمانی ثابت لازم نیست ارزشمند است. این اتفاق امکان تغییر پویای چرخه ی وظیفه ی ارتباط δ بین گره ها به ازای ملزوماتمان را فراهم می کند.

A. تقریب کمترین مربعات

همه ی کلاک ها به طور ذاتی غیر خطی هستند، بهر حال با توجه به انحراف آلن کم برای دوره ی زمانی کوتاه، مدل کلاک می تواند خطی سازی شود تا به شکل یک مدل مرتبه اول در آید. با این فرض که گره چاله، گره منبع ماست، زمان محلی متناظر در گره i برابر است با:

$$T_{i,k} = (1 + \dot{\phi}_i)T_{0,k} + \phi_i, \quad (1)$$

که در آن $\{\dot{\phi}_i, \phi_i\}$ انحراف فرکانس و انحراف فاز گره i هستند. در شرایط ایده آل، $\{\dot{\phi}_i, \phi_i\} = \{0, 0\}$ و متعاقباً $T_{i,k} = T_{0,k}$ می باشد. بهر حال این خطاهای کلاک در عمل رایج هستند و تقریب و تصحیح درست کلاک محلی در گره i یک چالش است. علاوه بر این، انحراف زمان در گره i با توجه به کلاک مرجع برابر است با:

$$\epsilon_{i,k} \triangleq T_{i,k} - T_{0,k} = \dot{\phi}_i T_{0,k} + \phi_i. \quad (2)$$

اکنون، ضرایب کلاک نامعلوم $\theta_i \triangleq [\dot{\phi}_i, \phi_i]$ با جمع آوری همه ی انتقالات K و استفاده از (2) می توانند با حل معادلات زیر بدست آیند:

$$\hat{\theta}_i = \arg \min_{\theta_i} \|\mathbf{A}_K \theta_i - \epsilon_i\|_2^2 \quad (3)$$

$$= (\mathbf{A}_K^T \mathbf{A}_K)^{-1} \mathbf{A}_K^T \epsilon_i = \mathbf{G}_K^{-1} \mathbf{b}_{i,K}, \quad (4)$$

که در آن $\mathbf{A}_K = [\mathbf{t}, \mathbf{1}_K]$ ، $\mathbf{b}_{i,K} = \mathbf{A}_K^T \epsilon_i$ ، $\mathbf{G}_K = \mathbf{A}_K^T \mathbf{A}_K$ ، $\mathbf{1}_K$ به بردار ستون k دلالت می

کند و بردارهای اندازه گیری به شکل زیر هستند:

$$\mathbf{t} = [T_{0,1} \quad T_{0,2}, \dots, T_{0,K}], \quad (5)$$

$$\epsilon_i = [\epsilon_{i,1} \quad \epsilon_{i,2}, \dots, \epsilon_{i,K}]. \quad (6)$$

در اینجا $\hat{\theta}_i$ تقریبی از پارامترهای کلاک صحیح است و (3) دارای راه حلی عملی می باشد که بوسیله ی $k \geq 2$ فراهم شده است. مشاهده شده است که ماتریس \mathbf{G}_K تنها به برچسب های زمان از گره چاه مرجع \mathbf{t} وابسته می باشد. در نتیجه، هنگامیکه فاصله ی زمانی نونه برداری (احتمالاً متغیر) δt از پیش معلوم باشد، وارون سازی \mathbf{G}_K^{-1} در ادامه می تواند به صورت آفلاین تقریب زده و به صورت محلی و با هزینه ی حافظه ی بیشتر ذخیره شود.

B. به روز رسانی حداقل مربعات تکراری

برای مجموعه ای از K اندازه ی زمانی، تعداد ضریب ها برای حل کردن راه حل حداقل مربعات (LS) برای (3) برابر است با $O(2K)$ ، که در آن وارونگی ماتریس گرامیان G_k گران ترین عملیات است. بهر حال، از آنجایی که اندازه ها به صورت پی در پی می رسند لذا تخمین زنده ی حداقل مربعات می تواند به صورت ردیف تکراری حل شوند. اجازه دهید تا \mathbf{a}_k^T و $\epsilon_{i,k}^T$ به ترتیب به k th ردیف ورودی (در طول انتقال k th) A و ϵ_i دلالت می کند. در ادامه، حل کردن (3) برای $2 < k \leq K$ برابر با حل کردن تکراری $\mathbf{G}_k^{-1} \mathbf{b}_{i,k}$ است که در آن به روز رسانی k th برابر است با:

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_k^{-1} &\triangleq (\mathbf{G}_{k-1} + \mathbf{a}_k \mathbf{a}_k^T)^{-1} \\ &= \mathbf{G}_{k-1} - \frac{\mathbf{G}_{k-1}^{-1} (\mathbf{a}_k \mathbf{a}_k^T) \mathbf{G}_{k-1}^{-1}}{1 + (\mathbf{a}_k^T \mathbf{G}_{k-1}^{-1} \mathbf{a}_k)}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\mathbf{b}_{i,k} = \mathbf{b}_{i,k-1} + \mathbf{a}_k^T \epsilon_{i,k}. \quad (8)$$

تقریب اولیه در $k=2$ با حل کردن یک سیستم خطی 2×2 ، $\mathbf{G}_2^{-1} \mathbf{b}_{i,2}$ ، که در آن

$$\mathbf{G}_2 = \mathbf{A}_2^T \mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} G_{1,1} & G_{1,2} \\ G_{2,1} & G_{2,2} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\mathbf{G}_2^{-1} = \frac{1}{\det(\mathbf{G}_2)} \begin{bmatrix} G_{2,2} & G_{1,2} \\ -G_{1,2} & G_{1,1} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$\mathbf{b}_{i,2} = \mathbf{A}_2 \epsilon_{i,2}. \quad (11)$$

از آنجایی که به روز رسانی تکراری LS به لحاظ حافظه و چرخه های CPU بسیار گران قیمت است لذا می تواند روی هر سیستم تعبیه شده ی درونی پیاده سازی شود. روش تقریب زنی انحراف کلاک بالا را در پیاده سازی زیبای خفته ادغام کرده ایم.

7. ارزیابی عملکرد زیبای خفته

عملکرد زیبای خفته را براساس مصرف انرژی سراسری گره ها در یک WSN ارزیابی کرده ایم. در همین رابطه، کاهش چرخه ی وظیفه ی گره ها در تناوب زمانی بزرگتری را مورد پژوهش قرار داده ایم. علاوه بر این، عملکرد را به لحاظ نرخ دریافت بسته (PRR) نظارت کرده ایم.

A. جزئیات پیاده سازی

زیبای خفته روی پلتفرم Tmote Sky و با استفاده از سیستم عملیاتی Contiki پیاده سازی می شود. قابلیت های هسته ی گلوسی را با استفاده از سیلاب سریع برای بدست آوردن همگام سازی کلاک دقیق به کار برده ایم. علاوه بر این از پیاده سازی های LWB و FS-LWB پیشین نیز اتخاذ کرده ایم. از آنجایی که زیبای خفته دارای هرگونه مولفه ی خاص پلتفرم نیست، از این رو مستقیماً روی هر پلتفرمی که گلوسی به آن انتقال داده شود قابل استفاده است.

پارامترهای پیکربندی اندکی در زیبای خفته وجود دارد که می توانند براساس ملزومات کاربرد تنظیم شوند. بدون از دست رفتن کلیت، مقادیر پیش رو را در طول ارزیابیمان استفاده می کنیم، فاصله ی زمانی داخل بسته ی ا روی 10 ثانیه قرار داده شده است فاصله ی زمان بندی S روی 101 ثانیه قرار داده شده است (100 ثانیه)، و تناوب وقفه ی T تا پایان خود راه انداز چکمه ای روی 120 ثانیه قرار داده می شود.

B. ارزیابی پلتفرم ها

نتایج پژوهش مان ارائه کرده ایم، این پژوهش در بسترهای آزمایش ایندریا (Indriya) و فلاکلب (Flocklab) به همراه آزمایشاتی که از گره های محلی در آزمایشگاه ما استفاده کرده اند، انجام داده شده است. آزمایشات ما به ترتیب روی گره های 80 و 32 TelosB روی ایندیا و فلاکلب انجام داده شده اند. همه ی ارتباطات با استفاده از کانال 26 انجام داده می شوند و اکثر آزمایشات ما در شب انجام داده شده اند تا از تداخل با WiFi جلوگیری شود. دو مجموعه آزمایش مجزا را اجرا کردیم: یکی ارزیابی تقریب انحراف کلاک و دیگری ارزیابی عملکرد کلی زیبای خفته.

C. دقت تقریب انحراف کلاک

ابتدا، نتایج مرتبط به تقریب و تصحیح انحراف کلاک را مورد بحث قرار می دهیم. از آنجایی که کلاک ها در گره های مختلف به طور متفاوت رفتار می کنند، لذا رفتار دو گرهی را ارائه می کنیم که متناسب با گره مرجع در شکل 6، حداقل انحراف (بهترین) و حداکثر انحراف (بدترین) را نشان می دهند. کلاک اولین گره آهسته تر از گره مرجع عمل می کند چون انحراف مشاهده شده در سمت منفی است اما کلاک گره دوم سریع تر از گره مرجع عمل می کند (شکل 6a).

پارامترهای انحراف کلاک با استفاده از 120 نمونه ی آموزشی تخمین زده شده اند که در آن بسته های همگام سازی هر ثانیه ارسال می شوند. در فاز ارزیابی، بسته های همگام سازیدر فواصل زمانی مختلف (طولانی تر) ارسال می شوند. گره پیش از دریافت بسته ی همگام سازی بعدی، انحراف کلاک را تخمین می زند و کلاکش را تنظیم می کند. بعد از آن، در حالت ماندگار، زمانی که یک بسته ی همگام سازی دریافت می شود، انحراف محاسبه می گردد (اگر وجود داشته باشد). این انحراف بر خطای تقریب زنی دلالت دارد. به یاد داشته باشید که در طول ارزیابی، کلاک ها همیشه با توجه به کلاک مرجع و پس از دریافت بسته ی همگام سازی مجددا تنظیم می شوند.

شکل 6b خطای تقریب را برای دوره های همگام سازی مختلفی نشان می دهد. برای هر دوره ی همگام سازی، چندین اندازه گیری اجرا شده است و مقدار میانگین در شکل ترسیم گشته است. با توجه به این داده، واضح است که خطای تقریب در زمانی که دوره ی همگام سازی افزایش یابد، بیشتر می شود. این رفتار ناشی از طبیعت غیر خطی کلاک و مجموعه ی کوچک داده ی آموزشی است. خطای تقریب می تواند مهار شود، اگر پارامترهای انحراف نیز در طول فاز ارزیابی و بعد از دریافت هر بسته ی همگام سازی به روز رسانی شده باشند. شکل 6c تصحیح کلاک بهبود یافته را نشان می دهد و خطای تقریب زنی آن در مقایسه با شکل 6b کوچکتر است. بهر حال، حتی در چنین موردی، خطای تقریب با توجه به دوره ی همگام سازی افزایش می یابد. هر چند که در برخی بسیار کمتر است.

گلووسی با ارسال کافی و مکرر بسته های همگام سازی به طوریکه انحراف کلاک گره ها در کران باقی بماند، در میان گره ها با دقت همگام سازی بالا باقی می ماند. گلووسی این کران را به عنوان زمان محافظ تعریف کرد و آن را روی

500 us قرار داد بر اساس آزمایشات روی ایندیریا، یافتیم که حتی اگر بسته های همگام سازی هر 10 ثانیه ارسال شده باشند، برخی از گره ها همگام می شوند (انحراف بیشتر از زمان محافظ است). بنابراین فرض کردیم که برای همگام سازی همه ی گره ها، بسته های همگام سازی باید در فواصل 5 ثانیه ارسال شوند. بهر حال، اگر نرم افزار داده را در فواصل زمانی بزرگ ارسال کند، بسته های همگام سازی زیادی تنها برای همگام سازی شبکه مبادله خواهند شد. یک بسته ی همگام سازی با استفاده از روش تقریب زنی انحراف کلاک می تواند در هر 45 دقیقه یکبار ارسال شود، در حالیکه انحراف کلاک در آستانه ی از پیش تعیین شده ی 500us خواهد بود (شکل 6c را ببینید).

D. عملکرد زیبای خفته

در مرحله ی بعد، عملکرد زیبای خفته را مورد پژوهش قرار می دهیم. چون تعداد گروه های سنجش رایج در یک WSN می تواند به طور چشمگیری تغییر کند، لذا با مجموعه های مختلفی از گروه ها آزمایش کردیم. فرض کردیم که تنها یک گره ارائه کننده از هر گروه برای تحقق بخشیدن به ملزومات سنجش در جایی که گروه ها بر اساس همبستگی تعریف شده در 24 شکل گرفته اند، کافی است. به طور خاص، با چهار تنظیمات مختلف گروه آزمایش کرده ایم، به طوریکه درصدهای گره های فعال پیش رو وجود داشت: 6.25٪، 12.5٪، 25٪ و 50٪ در حالیکه تعداد کل گره ها ثابت حفظ می شدند. این موضوع بدین معنا است که به ترتیب 4 و 8 و 16 و 40 گره در ایندیریا وجود دارد. در فلاکلب، 2 و 4 و 8 و 16 گره وجود دارد.

زیبای خفته (SB) را با دو پروتکل مدرن (LWB و FS-LWB) مقایسه کرده ایم. از آنجایی که رادیو پرمصرف ترین فعالیت برجسته ی گره است، زمان روشن بودن (چرخه ی وظیفه) را با هر دوی این پروتکل ها مقایسه می کنیم. شکل 7 و 8 چرخه ی وظیفه و نرخ دریافت بسته ی میانگین در طول همه ی گره های بسترهای آزمایش ایندیریا و فلاکلب را با استفاده از (i؛ LWB؛ ii) FS-LWB و (iii) زیبای خفته برای چهار عدد مختلف گره های منبع نشان می دهد. برای هر آزمایش، از 100 فراچارچوب استفاده کرده ایم و مجموع تعداد بسته های داده از 200 تا 4000 تغییر می کند (بر مبنای تعداد گره های منبع). در همه ی موارد به غیر از یک مورد، زیبای خفته به لحاظ چرخه ی

وظیفه بهتر از LWB-(FS) عمل می کند (تا فاکتور 3)، در حالی که نرخ های دریافت بسته ی قابل قیاسی را دریافت می کند. صرفه جویی در مصرف انرژی در زمانی که حداقل تعداد گره های منبع فعال باشند، بیش از پیش مشخص است. این موضوع در ادامه با این مفهوم که تنها زیبایی خفته می تواند گره ها را برای مدتی طولانی به خواب ببرد، تطابق می کند. RRR های مشاهده شده نشان می دهند که اکثر داده در چاله انتقال داده شده اند؛ تنها در بستر آزمایش ایندیریا برخی از بسته ها از دست می روند. بهر حال، در میان این سه پروتوکلیب یک پیروز مشخص وجود ندارد. زیبایی خفته وابسته به تعداد گره های منبع، در مقایسه با LWB-(FS) بسته های بیشتر یا کمتری را از دست می دهد. استنتاج کرده ایم که علت اساسی برای کنارگذاری در PRR، مکانیزم تداخل سازنده (CI) است که کارآمدی آن بستگی به تعداد انتقال دهنده های همزمان دارد. با فرستنده های خیلی کم، چیزی به دست نمی آید؛ با فرستنده های خیلی زیاد، ناهم راستایی جزئی در نماد جزء جزء منجر به از دست رفتن بسته می شود. پروتوکلیب متفاوت وابسته به تعداد گره های فعال می تواند مجموعه ی ایده آل از فرستنده های همزمان را برای CI گزینش می کند.

برای بدست آوردن فهمی عمیق تر از اینکه زیبایی خفته چگونه می تواند خدمتی مشابه (PRR) فراهم کند، در حالیکه انرژی کمتری مصرف نماید، شکل 9a زمان میانگین روشن بودن رادیو را که به فعالیت های اصلی پروتکل تجزیه شده است (مدیریت داده، همگام سازی، و بسته های استروب) را نشان می دهد. در LWB، حتی اگر منابع داده ی کمتری وجود داشته باشد و شیارهای اده ی کمتری همراه با آنها باشد، همه ی گره ها در همه ی شیارهای داده مشارکت می کنند. FS-LWB چرخه ی وظیفه ی سراسری گره ها را کاهش می دهد. این کار با استفاده از تنها یک زیرمجموعه از گره ها در شیارهای داده ی همراه با منبع داده ی مشخص انجام گرفته است. به علت اطلاعات توپولوژی اصلاح شده تر که توسط زیبایی خفته جمع اوری شده اند، این پروتکل قادر است تا گره های بیشتری را به خواب ببرد. این عمل زمان میانگین سپری شده برای مدیریت (ارسال) داده را بیشتر کاهش می دهد. برای مثال، زمانی که 8 گره منبع فعال باشند، LWB 0.78% نقاط را روی مدیریت بسته های داده صرف می کند، در حالیکه FS-LWB این درصد را تا 0.44 درصد کاهش می دهد و زیبایی خفته تنها به 0.30 درصد از نقاط احتیاج دارد.

در کنار بدست آوردن کارآمدی بوسیله ی پرکردن داده های کمتر، زیبای خفته به شدت از روش بهبود یافته ی همگام سازی بهره می برد. LWB و FS-LWB در حدود 0.23 درصد از نقاط چرخه ی وظیفه را روی مدیریت بسته های همگام سازی صرف می کند. این کار به جهت حفظ ملزومات زمان بندی گلوسی ($500\mu s$) می باشد. از سوی دیگر، زیبای خفته تنها 0.02 درصد از نقاط را روی مدیریت بسته های همگام سازی صرف می کند. این مسئله به درشتی با تناسب نرخ های تزریق تطابق می کند، با (FS-)LWB در حال ارسال بسته های همگام سازی به بیرون در هر 5 ثانیه و همگام سازی زیبای خفته در هر 100 ثانیه.

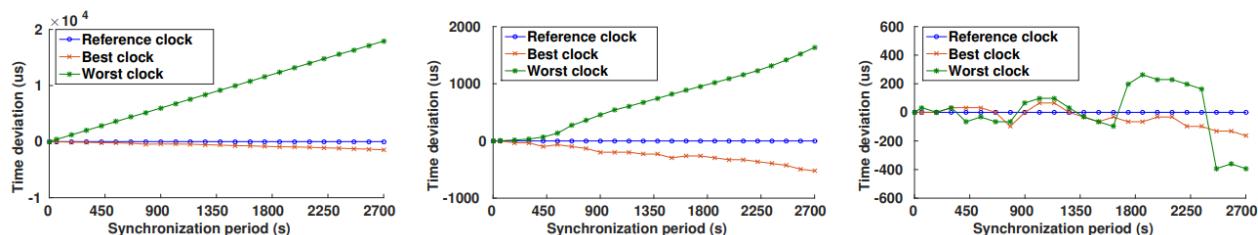
زیبای خفته مقداری مزاد دارد (0.06 درصد نقاط). این مزاد به شکل بسته های استروب می باشد که برای جمع آوری اطلاعات توپولوژی به کار گرفته می شود. این مسئله تا هزینه ی همگام سازی 0.08 درصد نقاط بالا می رود که هنوز در مقایسه با مقدار (FS-)LWB هنوز مطلوب است. اهمیت سیاست استرابینگ هوشمند که تنها مقادیر ETX را برای گره های والد بالقوه به روز رسانی می کند (بخش V-B)، در زمانی که با مزاد زیبای خفته در زمان خود راه اندازی چکمه ای و حالت ماندگار مقایسه می شود، واضح می گردد. شکل 10a نشان می دهد که شنیدن همه ی گره ها در شبکه (خود راه انداز چکمه ای) به ترتیب 7 تا 10 برابر گران تر از تنها گره های والد بالقوه (حالت ماندگار) در فلاکلب . ایندیریا است. این فاکتور با تناسبی تعداد کل گره ها در بستر آزمایش روی تعداد میانگین گره های والد تطبیق می کند: $32/4.5=7$ برای فلاکلب و $80/8=10$ برای ایندیریا.

اطلاعات جمع آوری شده ی همسایگی به چاله گزارش داده می شود، اما تنها جزیی و محدود به مزاد. زیبای خفته بر مبنای مقادیر ETX همسایه ها، به آنها دستور می دهد و ماهیت های برتر X را با کوتاه ترین مسیر ها به چاله می فرستد. گزارش دادن تعداد صحیح والدین بالقوه مهم است چون (از سوی دیگر) مزاد تناسب مستقیم با آن دارد و از سوی دیگر چاله می تواند تصمیمات بهتری بگیرد که اگر دانش کامل تری از توپولوژی داشته باشد، گره ها را فعال کند.

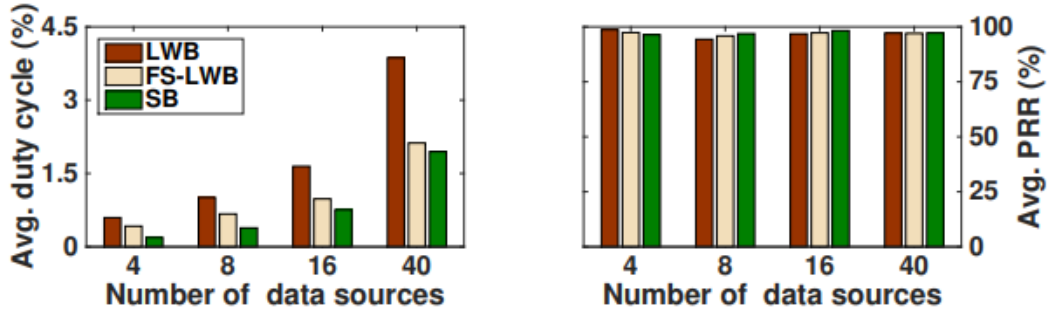
به منظور پژوهش در مورد این مبادله، آزمایشی را انجام دادیم که در آن گره ها را برای گزارش دادن لیست ده مورد برتر با والدین بالقوه پیکر بندی نمودیم. در ادامه نظارت کردیم که کدام والد برای راند زمان بندی بندی توسط چاله

گزينش می شود. شکل 10b توزيع تجميعی والدین گزينش و رده بندی شده را برای تعداد مختلفی از منابع فعال در بستر آزمایش ايندريا نشان می دهد. در 7٪ از موارد، چاله 5 والد یا کمتر را برای فعال شدن انتخاب کرده اند. این عمل ما را تهییج می کند تا این نتیجه را بگیریم که لیست 5 والدی، اطلاعات توپولوژی کافی برای چاله فراهم می کند تا جایگذاشت جمع آوری داده ی موثری را بسازد.

با دانستن اینکه بازدهی کلی زیبای خفته عمدتاً با تعداد گره های فعال تخصیص داده شده است، ایجاد جایگذاشت هایی که در آنها هر گره (منبع) تنها یک والد فعال داشته باشد، وسوسه انگیز است. بهر حال، چنین جایگذاشت نامترکمی به احتمال زیاد به اتلاف بسته ی القا شده از طرف خطاها در کانال بی سیم حساس می باشد. از آنجایی که مکانیزم سیلاب سریع اصولی متکی به امتحان کردن همه ی پیوند های قابل دسترسی است، لذا فعال سازی تعدادی از گره های (والد) اضافی می تواند سودمند باشد. برای مطالعه روی مبادله ی مازاد PRR، با گزينش یک یا دو گره والد آزمایش کردیم. شکل 11 اختلاف در PRR و چرخه ی وظیفه را برای هر دو مورد در ايندريا با تعداد مختلفی از گره های منبع فعال نشان می دهد. PRR تاثیر ناچیزی دریافت کرد که باعث تعجب ما شد. با مطالعه ی دقیق جایگذاشت های تک والده، متوجه شدیم که در بسیاری از موارد، گزينش بهترین والد یک گره ، به عنوان یک اثر جانبی، دلالت بر فعال سازی گره های خوب در رده ی دو م و سوم دیگر گره ها نیز می کرد. اثر گزينش یک یا دو والد برای چرخه ی وظیفه اندکی مشخص تر است اما هنوز محدود است و نشان می دهد که هر دو انتخاب مناسب می باشد.

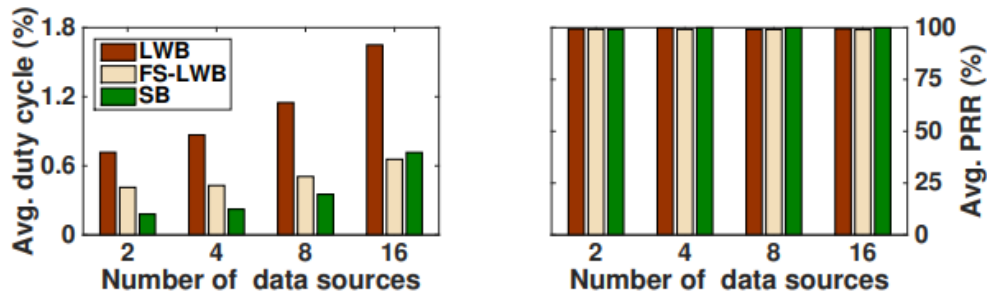


شکل 6: رفتار دو کلاک (بهترین و بدترین) متناسب با کلاک مرجع



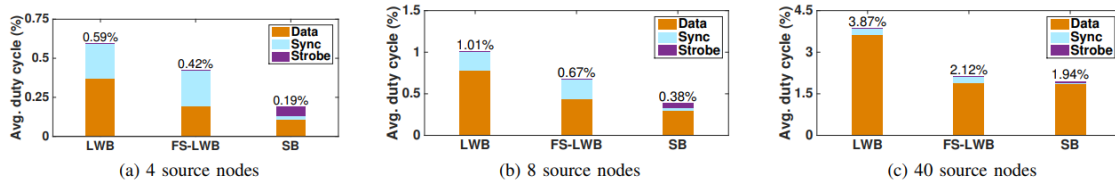
شکل 7: آزمایشات در ایندریا: چرخه ی وظیفه ی میانگین به ازای هر گره در دوره تناوبی بلند و نرخ دریافت بسته

ی میانگین



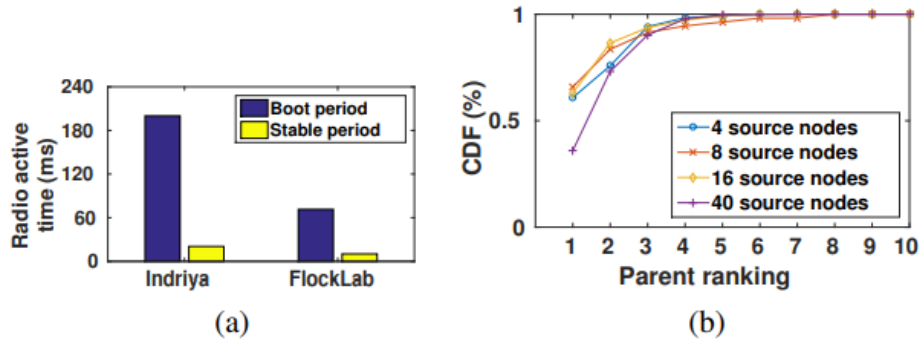
شکل 8: آزمایشات در فلاکلب: چرخه ی وظیفه ی میانگین به ازای هر گره در دوره تناوبی بلند و نرخ دریافت بسته

ی میانگین

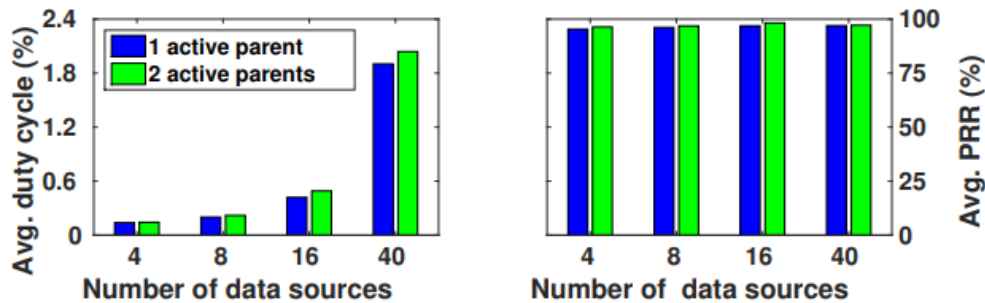


شکل 9: آزمایشات در ایندریا با 80 گره: زمان میانگین روشن بودن رادیو برای عملیات های مختلف زیبای خفته

(SB)



شکل 10: (a) مازاد استروب در طول خود راه اندازی چکمه ای و حالت ماندگار. (B) توزیع والد فعال در لیست رده بندی شده



شکل 11: مقایسه ی زمان میانگین روشن بودن رادیو در زمانی که یک یا دو گره والد به حالت فعال گزینش می شوند

8. نتیجه گیری

برای آماده سازی در برابر شرایط مختلف شبکه و خرابی های گره، پیاده سازی WSN معمولاً شامل گره های مازاد می شود. زمان بندی گره از این ویژگی با محدود کردن تعداد گره های فعال استفاده می کند. این محدود کردن در جهت حاصل کردن عملیات شبکه با انرژی کارآمد و بدون تخطی کردن از ملزومات پوشش نرم افزار می باشد. بهر حال، تنها محدود کردن تعداد گره های فعال کافی نیست؛ گره های فعال باید یک (زیر) شبکه ی متصل را شکل دهند. بدنه ی بزرگی از کار روی گزینش یک زیرمجموعه از گره هایی که آرایش کامل را پوشش می دهند وجود

دارد. این روش های بهینه سازی شده ی زمان بندی گره به طور کلی قابل استفاده برای آرایش دنیای واقعی نیستند چون نیازمند اطلاعات توپولوژی کامل می باشند که بدست آوردن دقیق آن سخت و پرهزینه است.

زیبای خفته که چروتوکل ارتباطی با انرژی کارآمد است را ارائه می کنیم، این پروتکل با اطلاعات توپولوژی جزئی کار می کند و از پروتکل های مدرن بر پایه ی سیلاب (LWB و FS-LWB) در سناریوهای زمان بندی گره بهتر کار می کند. زیبای خفته این مسئله را با در نظر گرفتن موارد پیش رو به دست آورده است (i) یک مکانیزم کارآمد شناسایی همسایه که گزینش یک مجموعه ی حداقلی اما مرتبط از گره های فعال را مقدور می سازد و (ii) یک روش تقریب زنی انحراف کلاک ساده اما استاندارد که به گره ها امکان خوابیدن برای مدت زمانی بیشتر بدون نیاز به همگام سازی مجدد آشکار را می دهد. مورد دوم برای ایجاد امکان استفاده از سیلاب کارآمد تحریک شونده با زمان گلوسی مهم است. روش همگام سازی زمان ما می تواند در هر نرم افزاری به کار گرفته شود. عملکرد زیبای خفته را با پروتکل های مدرن در دو بستر آزمایش (ایندریا و فلاکلب) مقایسه کردیم. این مقایسه نشان داد که در کسری از انرژی مصرف شده، عملکردی مشابه (PRR) می تواند حاصل شود. فاکتور کاهش سه را برای بهترین سناریو با 5٪ گره فعال ثبت کردیم

REFERENCES

- [1] A. Chamam and S. Pierre, "On the planning of wireless sensor networks: Energy-efficient clustering under the joint routing and coverage constraint," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 8, no. 8, 2009.
- [2] S. Mini, S. K. Udgata, and S. L. Sabat, "Sensor deployment and scheduling for target coverage problem in wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 636–644, 2014.
- [3] H. Gupta, V. Navda, S. Das, and V. Chowdhary, "Efficient gathering of correlated data in sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 4, no. 1, p. 4, 2008.
- [4] L. A. Villas, A. Boukerche, H. De Oliveira, R. De Araujo, and A. A. Loureiro, "A spatial correlation aware algorithm to perform efficient data collection in wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, 2014.
- [5] M. Cardei and J. Wu, "Energy-efficient coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks," *Computer communications*, vol. 29, no. 4, pp. 413–420, 2006.
- [6] C. Sarkar, V. S. Rao, R. Venkatesha Prasad, and K. Langendoen, "Sleep-route: Assured sensing with aggressively sleeping nodes," in *IEEE 11th Conf. on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, 2014, pp. 237–241.
- [7] H. M. Ammari and S. K. Das, "Centralized and clustered k-coverage protocols for wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 61, no. 1, pp. 118–133, 2012.
- [8] Y. Yao, Q. Cao, and A. V. Vasilakos, "Edal: An energy-efficient, delay-aware, and lifetime-balancing data collection protocol for wireless sensor networks," in *IEEE MASS*, 2013, pp. 182–190.
- [9] F. Ferrari, M. Zimmerling, L. Thiele, and O. Saukh, "Efficient network flooding and time synchronization with glossy," in *10th ACM/IEEE Conf. on Information Processing in Sensor Networks*, 2011, pp. 73–84.
- [10] F. Ferrari, M. Zimmerling, L. Mottola, and L. Thiele, "Low-power wireless bus," in *10th ACM Conf. on Embedded Network Sensor Systems*, 2012, pp. 1–14.
- [11] M. Doddavenkatappa, M. C. Chan, and A. L. Ananda, "Indriya: A low-cost, 3D wireless sensor network testbed," in *Testbeds and Research Infrastructure. Development of Networks and Communities*. Springer, 2012, pp. 302–316.
- [12] R. Lim, F. Ferrari, M. Zimmerling, C. Walser, P. Sommer, and J. Beutel, "Flocklab: A testbed for distributed, synchronized tracing and profiling of wireless embedded systems," in *ACM/IEEE IPSN*, 2013.
- [13] D. Carlson, M. Chang, A. Terzis, Y. Chen, and O. Gnawali, "Forwarder Selection in Multi-Transmitter Networks," in *9th Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*. IEEE, May 2013.
- [14] O. Gnawali, R. Fonseca, K. Jamieson, D. Moss, and P. Levis, "Collection tree protocol," in *7th ACM Conf. on Embedded Networked Sensor Systems*, 2009, pp. 1–14.
- [15] O. Landsiedel, E. Ghadimi, S. Duquennoy, and M. Johansson, "Low power, low delay: opportunistic routing meets duty cycling," in *11th ACM/IEEE Conf. on Information Processing in Sensor Networks*, 2012.
- [16] O. Landsiedel, F. Ferrari, and M. Zimmerling, "Chaos: Versatile and efficient all-to-all data sharing and in-network processing at scale," in *11th ACM Conf. on Embedded Networked Sensor Systems*, 2013.
- [17] P. Levis, N. Patel, D. Culler, and S. Shenker, "Trickle: A self-regulating algorithm for code propagation and maintenance in wireless sensor networks," in *NSDI'04*. USENIX Association.
- [18] K. Leentvaar and J. H. Flint, "The capture effect in fm receivers," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 24, no. 5, pp. 531–539, 1976.
- [19] R. T. Rajan and A.-J. van der Veen, "Joint ranging and synchronization for an anchorless network of mobile nodes," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 63, no. 8, pp. 1925–1940, 4 2015.
- [20] R. T. Rajan, M. Bentum, and A.-J. Boonstra, "Synchronization for space based ultra low frequency interferometry," in *IEEE Aerospace Conference*, 3 2013, pp. 1–8.
- [21] E. Serpedin and Q. M. Chaudhari, *Synchronization in Wireless Sensor Networks: Parameter Estimation, Performance Benchmarks, and Protocols*, 1st ed. NY, USA: Cambridge University Press, 2009.
- [22] L. L. Scharf, *Statistical signal processing*. Addison-Wesley Reading, MA, 1991, vol. 98.
- [23] C. Sarkar, "Lwb and fs-lwb implementation for sky nodes using contiki," *arXiv preprint*, 2016.
- [24] C. Sarkar, V. S. Rao, R. V. Prasad, S. N. Das, S. Misra, and A. Vasilakos, "Vsf: An energy-efficient sensing framework using virtual sensors," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 12, pp. 5046–5059, 2016.