

تحلیل رقابت پویا و مقیاس پذیر با استفاده از تداخل سازنده

وحید سلمانی

دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

تعداد روزافزونی از دستگاههای هوشمند برای کار در حوزه اینترنت اشیاء و سنگ بنای آن یعنی شبکه های حسگر بیسیم مورد انتظار است. در این شبکه ها از آنجا که حسگرهای بی سیم محدودیت های سخت افزاری و عملیاتی مختلفی داشته و از طرف دیگر ترافیک نیز می تواند پویایی زیادی داشته باشد، طراحی پروتکل های ارتباطی کارآمد چالش های زیادی دربر دارد. با وجود تعداد زیاد الگوریتم های تحلیل رقابت ارائه شده، هیچ یک از آنها به طور همزمان واجد قابلیت هایی نظیر مقیاس پذیری، تطبیق پذیری به سطح رقابت، و کارایی مناسب در شرایط بار مختلف نیست. این طرح پژوهشی در راستای پر کردن این خلاء، طراحی یک پروتکل تحلیل رقابت کارا و مقیاس پذیر برای عملکرد در سطوح مختلفی از رقابت را ارائه می دهد.

کلمات کلیدی: لایه کنترل دسترسی به رسانه، تحلیل رقابت، مقیاس پذیری، پروتکل تطبیق پذیر

۱. مقدمه

یکی از چالش های عملی در حوزه اینترنت اشیاء چگونگی مدیریت افزایش چشمگیر مقیاس شبکه است. با اضافه شدن اشیاء جدید به شبکه، قابلیت دستگاههای متنوع در استفاده بهینه از پهنای باند محدود و مدیریت رقابت برای دسترسی به کانال امری اجتناب ناپذیر است. از سوی دیگر، ترافیک در این شبکه ها می تواند بسیار پویا بوده و شبکه در هر لحظه سطح متغیری از رقابت را تجربه کند. در نتیجه فناوری های ارتباطی تطبیق پذیر در چشم انداز اینترنت اشیاء موضوعی کلیدی به شمار می روند. این موارد باعث شده که تاکید مضاعفی روی شبکه های حسگر بی سیم (به عنوان اجزای اساسی تشکیل دهنده اینترنت اشیاء) و به طور خاص لایه کنترل دسترسی رسانه ^۱ (MAC) آنها قرار گیرد. چرا که در صورت عدم مدیریت مناسب، رقابت زیاد می تواند منجر به اتلاف پهنای باند در اثر از دست رفتن بسته ها و یا مصرف زیاد آن در اثر ارسال مجدد بیش از حد بسته ها گردد. به منظور استفاده موثر از پهنای باند، تکنیکهای تحلیل رقابت ^۲ کارآمدتری مورد نیاز هستند.

محدودیت های مربوط به شبکه های حسگر بی سیم از قبیل مصرف انرژی کمینه، طول محدود بسته ها، ماهیت مستعد خطای کانال، و پویایی شبکه از چالش های موجود در طراحی پروتکل های ارتباطی می باشند. به طور خاص یکی از مهمترین چالش ها در تحلیل رقابت، تغییرات سطح رقابت و پویایی ترافیک در شبکه های حسگر بی سیم در اثر تغییر تعداد گره های فعال است. از این رو پروتکل های لایه MAC باید به طور ایده آل در گستره وسیعی از شرایط بار ترافیکی عمل کنند. به منظور نشان دادن اهمیت استفاده از روش های تطبیقی و مقیاس پذیر در ادامه سه وضعیت که در آن شبکه تغییرات رقابت زیادی را تجربه می کند شرح داده شده است:

- در شبکه های رخدادگرا ممکن است چندین گره به طور همزمان رخداد یکسانی را گزارش داده و منجر به

^۱ Medium Access Control

^۲ Contention Resolution

ترافیک انفجاری شوند. به طور مشابه، شبکه های ناحیه بدن^۳ ممکن است الگوهای ترافیکی انفجاری، دوره ای و یا بدون ترافیک را تجربه کنند [۱].

- تحرک^۴ می تواند باعث تغییر در تعداد گره های موجود در یک ناحیه گردد. برنامه های کاربردی که بین حالات ایستا و متحرک نوسان می کنند می توانند سطوح رقابت متغیری را تجربه کنند. در چنین سیستم هایی انعطاف پذیری در طراحی نکته ای کلیدی است که می تواند به وسیله روش تحلیل رقابتی تطبیقی تسهیل شود [۲].
- در بسیاری از شبکه های مبتنی بر خوشه سازی پویا^۵ اندازه خوشه میتواند تغییرات زیادی داشته باشد. چنین شبکه هایی می توانند در هر لحظه سطح متفاوتی از رقابت را به دلیل وجود تعداد گره های متفاوت تجربه کنند [۳].

موارد فوق الذکر نیازمند تکنیکهای ارتباطی بهبود یافته و تطبیق پذیری برای شبکه های حسگر بی سیم به عنوان محور اصلی اینترنت اشیا می باشند. پروتکل کنترل دسترسی به رسانه وظیفه هماهنگی و مدیریت دسترسی به رسانه بی سیم در میان گره های حسگر را بر عهده دارد. این قابلیت به طور مستقیم تحت تاثیر کارایی روش تحلیل رقابت استفاده شده می باشد. مساله تحلیل رقابت به میزان زمان مورد نیاز برای همه رقیبان درگیر در یک تصادم اطلاق می گردد تا هنگامی که هر کدام به تنهایی ارسالی موفق داشته باشند. از این رو تحلیل رقابت نقش مهمی در طراحی پروتکل MAC ایفا می کند.

روش های تحلیل رقابت موجود دارای نقاط ضعف زیادی از جمله عدم مقیاس پذیری، ناکارآمدی در بهره وری از منابع، و عدم تطبیق پذیری به شرایط جاری شبکه می باشند. تکنیک های تحلیل رقابت به دو دسته شروع از فرستنده (غالباً توزیع شده) و شروع از گیرنده^۶ (غالباً متمرکز) تقسیم می شوند. در دسته شروع از فرستنده، متداولترین روش عبارتست از اجتناب از تصادم مبتنی بر backoff که در آن رقبا در ابتدا وضعیت کانال را بررسی کرده و فقط در صورتی که خالی باشد اقدام به ارسال می کنند. هر چند این روش می تواند موجب تاخیر کمینه در سطح رقابت پایین شود ولی مشکل اصلی آن تصادم در سطوح رقابت بالاست که منجر به تاخیر زیاد و ناکارآمدی استفاده از پهنای باند می شود.

روش شروع از گیرنده که در سالهای اخیر مورد توجه بیشتری واقع شده و مبنای این طرح پیشنهادی نیز می باشد، بر اساس تصادم کار می کند. در این روش، گیرنده به وسیله ارسال یک بسته کاوش (probe) یا آماده به دریافت، آغاز ارسال را اعلام می کند. اگر چند فرستنده به طور همزمان به یک probe پاسخ دهند یک تصادم اتفاق می افتد و روال تحلیل وارد عمل می شود. همانطور که در بخش ۲ به این دسته بیشتر پرداخته شده، روشهای موجود در این دسته خود به دو زیرگروه تقسیم میشوند. گروه اول روش های مبتنی بر انشعاب درخت بوده و دارای مشکل عدم کارایی در سطح رقابت پایین می باشند. گروه دوم مبتنی بر واریسی ویژگی های مختلف سیگنالهای در حال تصادم بوده و مشکل عدم مقیاس پذیری را دارند.

به طور خلاصه، روشهای متنوعی برای مدیریت افزایش ابعاد شبکه ها و تحلیل کارآمد رقابت میان دستگاه های حسگر بیسیم ارائه شده اند. ولی مشکل اصلی روش های موجود عدم انطباق پذیری کافی به سطوح مختلف رقابت متغیر و نیز عدم مقیاس پذیری می باشد. از این رو، مساله ای که در این طرح بدان پرداخته شده، طراحی روشی برای تحلیل رقابت است که دارای ویژگی های ذیل باشد:

- تطبیق پذیری: الگوریتم پیشنهادی قابلیت مدیریت سطوح مختلفی از رقابت را دارا خواهد بود. بدین معنا که در سطح رقابت پایین تاخیر اضافی ایجاد نکرده و در سطح رقابت بالا بالاسری زیادی تحمیل نمی کند.

^۳ Body Area Networks

^۴ Mobility

^۵ Dynamic Clustering

^۶ Receiver Initiated

- مقیاس پذیری: پروتکل پیشنهادی به اطلاعاتی نظیر اندازه شبکه یا تعداد رقبا در دسترسی به رسانه وابستگی نخواهد داشت و کارایی آن با افزایش تعداد گره های رقیب افت قابل ملاحظه ای نخواهد داشت.

۲. کارهای گذشته

به دلیل اهمیت روزافزون کیفیت ارتباطات در کاربردهای اینترنت اشیا، تکنیک های تحلیل رقابت متنوعی برای مدیریت کارآمد دسترسی دستگاه های حسگر به رسانه بی سیم ارائه شده اند. در ادامه به بررسی تعدادی از کارهای گذشته در حوزه تحلیل رقابت در دسته شروع از گیرنده می پردازیم که هدف پژوهشی ما از ارائه روش پیشنهادی را برانگیخته است.

متداول ترین روش در این دسته، انشعاب درخت^۷ یا درخت رقابت^۸ [۴] می باشد که روالی بازگشتی است و در هر مرحله گره های رقیب را به طور تصادفی به دو دسته تقسیم کرده و انشعاب را تا جایی ادامه می دهد که تنها گره باقی مانده بتواند ارسالی موفق داشته باشد. پروتکل درخت جستار^۹ شکل قطعی روش انشعاب درخت است که در آن گره های رقیب در صورتی که probe ارسالی حاوی پیشوندی دودویی از شناسه آنها باشد به آن پاسخ می دهند. هر چند این روش برای تعداد گره های زیاد کارا می باشد، ولی در سطح رقابت پایین به علت انشعاب بیش از حد دچار تنزل عملکرد می گردد. روش تحلیل رقابت درخت جستجوی دودویی^{۱۰} (BSTCR) [۵] شکل قطعی دیگری از روش انشعاب درخت است که دامنه تصادم را به صورت بازه ای از شناسه (ID) گره ها در نظر می گیرد. در این روش بازه شناسه رقبای درگیر در تصادم دقیقاً به دو نیم تقسیم میشود و امکان اضافه شدن رقیب جدید در میانه فرایند تحلیل هم وجود دارد. این روش به علت فراهم کردن تاخیر کران دار می تواند برای کاربرد های بلادرنگ مناسب باشد. ولی در شرایط رقابت پایین چندان کارآمد نیست چرا که برای تحلیل رقابت بین دو گره با شناسه نزدیک ممکن است چندین probe لازم باشد تا بازه شناسه ها به اندازه کافی شکسته شود. پروتکل s²TDMA [۶] با تقسیم بازه شناسه ها به بیش از دو قسمت سعی در بهبود روش BSTCR در رقابت بالا دارد ولی این مساله به تضعیف بیشتر عملکرد در سطوح رقابت پایین می انجامد.

این دسته از پروتکل ها از مقیاس پذیری خوبی برخوردار هستند و بهترین عملکردشان زمانی اتفاق می افتد که اکثر گره های شبکه در رقابت حضور داشته باشند. هر چند روشهای قطعی معمولاً سرعت بیشتری نسبت به روشهای تصادفی دارند [۷] ولی نقطه ضعف دیگرشان این است که برای بهترین کارایی نیازمند اطلاعات اندازه تعداد گره های موجود در شبکه هستند. پروتکل Flip-MAC [۸] روشی غیر بازگشتی از انشعاب درخت را به کار می گیرد که موجب شناسایی یک یا تعداد کمی گره باقی مانده با پیچیدگی لگاریتمی می شود. هر چند این روش به علت ماهیت تصادفی و غیر قطعی بودنش مشکل افت کارایی در رقابت کم را حل می کند ولی به علت عدم بازگشت به دامنه های نیمه تحلیل شده و شروع از صفر در سطوح رقابت بالا کارایی خوبی ندارد.

دسته دیگری از روش های شروع از گیرنده بر اساس واری و ویژگی های مختلف سیگنالهای در حال تصادم از چندین فرستنده کار می کنند. برای مثال پروتکل Strawman [۹] بر مبنای طول بسته ها کار می کند و دسترسی به کانال را در اختیار فرستنده طولانی ترین بسته قرار می دهد. این روش برای تعداد محدودی گره کارآمد است ولی مشکل مقیاس پذیری دارد چرا که در هر مرحله فقط یک برنده را مشخص میکند. به منظور تعیین بیش از یک برنده در هر مرحله پروتکل STAIRS [۱۰] از شاخص شدت سیگنال دریافتی^{۱۱} (RSSI) برای تعیین تعداد گره های رقیب استفاده می کند. این فناوری منجر به کارایی بهتری می شود ولی از آنجا که اندازه گیری شدت سیگنال همراه با خطا بوده و محدود به حداکثر حدود ۲۰ ارسال همزمان می باشد [۱۱]، این روش نیز دچار مشکل مقیاس پذیری است.

^۷ Tree splitting

^۸ Contention tree

^۹ Query Tree

^{۱۰} Binary Search Tree Collision Resolution

^{۱۱} Received Signal Strength Indicator

علاوه بر محدودیت های مربوط به پلتفرم، این قبیل پروتکل ها به دلیل تعیین تعداد محدودی برنده برای دامنه تصادم و شروع مجدد تحلیل رقابت از صفر برای تعیین برنده های بیشتر و تکرار این عمل تا ارسال موفق برای همه رقبا مقیاس پذیر نیستند.

در سازوکار غیر درختی تحلیل رقابت در پروتکل CD-MAC [۱۲]، گیرنده از تفاوت زمانی بسته های ACK برای تشخیص فرستنده ها استفاده میکند. در این روش هر، یک از رقبا با استفاده از اطلاعاتی نظیر اندازه فریم، و با انجام عملیات پیمانه مضاعف ^{۱۲}، اسلات زمانی خود را به گونه ای که احتمال تصادم کمینه شود محاسبه میکند. این روش عملکرد بهتری نسبت به تعدادی از روشهای پیشین داشته، ولی دارای مشکلاتی نظیر عدم مقیاس پذیری و عدم تطابق پذیری کافی به سطح رقابت می باشد. در نتیجه این سازوکار نیز نمی تواند همه رقبا را در یک گام شناسایی کند. همچنین با افزایش تعداد رقبا احتمال تصادم به سرعت بالا میرود.

علاوه بر معایب ذکر شده برای هر روش، هیچ یک از روش های فوق واجد ویژگی تطابق پذیری به سطح رقابت متغیر و کارایی خوب در تحلیل سطوح مختلف از رقابت نمی باشند. در طرح پیشنهادی سعی بر این است که به ایرادات فوق الذکر پرداخته و راهکارهای مناسب ارائه گردد.

۳. دلایل انجام طرح

چگونگی مدیریت و تحلیل سطوح مختلف از رقابت برای دسترسی به کانال هنوز یک مساله باز و حل نشده است. الگوریتم های تحلیل رقابت موجود هر یک در شرایطی خاص عملکرد خوبی از خود نشان می دهند ولی هیچ یک از آنها دارای ویژگی تطابق پذیری به سطح رقابت متغیر و کارایی خوب در شرایط مختلف از سطوح رقابت نمی باشند. به علاوه از ملزومات یک روش تحلیل رقابت کارآمد، مقیاس پذیری است که تعداد کمی از کارهای قبلی در این زمینه موفق بوده اند.

پیشنهاد پروژه حاضر، در راستای پر کردن این خلاء، طراحی یک پروتکل تحلیل رقابت کارا و مقیاس پذیر برای عملکرد در سطوح مختلفی از رقابت را ارائه می دهد. برای دستیابی به ویژگی های مورد نظر ترکیب جدید و منحصر به فردی از تکنیک های شناخته شده و فناوری های نوظهور در حوزه ارتباطات بی سیم در نظر گرفته شده است. یکی از مکانیزم های مورد استفاده، تداخل سازنده [۱۳] (قابلیت رمزگشایی از بسته های ارسال شده به طور همزمان) خواهد بود که فناوری نوید دهنده است ولی به دلیل بعضی از محدودیت هایی که دارد به میزان کافی مورد توجه و بهره برداری قرار نگرفته است. در این زمینه کارهایی نیز تاکنون توسط مجری طرح صورت گرفته [۱۴] یا در دست انجام است [۱۵] از جمله نشان دادن اهمیت شکستن ابعاد مساله و به کار گیری دامنه تصادم های کوچک شده به منظور دستیابی به مقیاس پذیری [۵]. چالشهایی نظیر قابلیت اعتماد و چگونگی به کارگیری روش تحلیل رقابت در طول پرشهای چندگانه ^{۱۳} نیز هنوز پاسخ درخوری دریافت نکرده که در این طرح مورد پژوهش قرار خواهد گرفت.

در بخش ۱ به اهمیت و کاربرد تکنیک های تطبیقی و مقیاس پذیر در شبکه های حسگر بی سیم و نیاز به روشی با این ویژگی ها برای تحلیل رقابت اشاره شد. پروتکل های تحلیل رقابت موثرتر در صورت پیاده سازی در محصولات کاربردی حوزه اینترنت اشیا می تواند منجر به افزایش قابلیت اطمینان و بهره وری از منابع، و کاهش مصرف انرژی گردد. روش تحلیل رقابت پویا می تواند در کاربردهایی نظیر تخمین تعداد و شمارش گرهها (به منظور جمع آوری اطلاعات به روز از یک ناحیه)، احراز هویت همزمان چندین شی (مثل RFID)، و انتخاب گره سرخوشه استفاده شده که ضمن کاهش بالاسری، سرعت عملیات را افزایش میدهد. به علاوه طرح پیشنهادی می تواند مبنایی برای پژوهش های بعدی در زمینه طراحی پروتکل های MAC موثرتر با قابلیت تضمین کیفیت خدمات بهتر باشد.

^{۱۲}Double-modulo

^{۱۳}Multi-hops

۴. اهداف و محصولات طرح

هدف از این طرح پژوهشی، در قدم اول ارائه راه حلی برای مساله مدیریت و تحلیل سطوح مختلف از رقابت برای دسترسی به کانال در شبکه های حسگر بی سیم است. همچنین در این پروژه قصد داریم امکان استفاده از پدیده تداخل سازنده در بهبود عملکرد روشهای تحلیل رقابت را بررسی نماییم. در راهکارهای پیشنهادی نحوه حل مشکل مقیاس پذیری روش های مبتنی بر طول یا شدت سیگنال بررسی خواهد شد. همچنین مساله کارایی پایین روش های مبتنی بر درخت رقابت و روش حل آن مورد پژوهش قرار خواهد گرفت. از خروجی های این طرح یک یا چند مقاله برای ارائه، ارزیابی و تحلیل کارایی پروتکل تحلیل رقابت با ویژگی مقیاس پذیری و تطابق پذیری و نیز نشان دادن کاربرد طرح پیشنهادی در تضمین کیفیت خدمات بهتر می باشد.

هدف دیگر از این پروژه فراهم کردن یک دیدگاه سازماندهی شده و کامل از کارهای انجام شده در موضوع تحلیل رقابت می باشد. مجری طرح در سال های اخیر بیش از ۵۰ مقاله در این حوزه شناسایی کرده که بخشی از آنها در [۱۵] و [۱۶] ارائه شده است. این مقالات به انضمام مقالات جدید احتمالی که در آینده مورد مطالعه قرار خواهد گرفت می تواند زمینه تالیف یک مقاله مروری را فراهم کند. با توجه به خلاء وجود چنین مرجعی در این حوزه، محصول دیگر این طرح در گام بعدی یک مقاله مروری خواهد بود که تحقیقات اخیر را خلاصه و سازماندهی کرده و به طور نقادانه از چندین نقطه نظر مورد بررسی قرار خواهد داد.

۵. نحوه اجرای طرح

با توجه به تخصص و تجربه مجری طرح در این زمینه، این پژوهش با مطالعه و بررسی ویژگیهای جدیدترین فناوریها جهت مقایسه و ارزیابی کارایی با روش پیشنهادی شروع خواهد شد. در طراحی پروتکل تحلیل رقابت پیشنهادی، از روش های مختلفی از قبیل تکنیک های نظارت بر کانال مانند RSSI و استخراج اطلاعات هر چه بیشتر برای شکستن دقیقتر دامنه تصادم استفاده خواهد شد. همچنین ساختاری برای نگهداری دامنه های شکسته شده به منظور بازگشت به نتایج میانی تحلیل شده طراحی می شود. در این طرح، پیش بینی موقعیت های رخداد خطا و طراحی روال های مدیریت آنها نیز ضروری است. همچنین در راستای ارائه طرحی جامع که دربرگیرنده شرایط واقعی باشد، تاثیر عوامل محیطی (مثل نویز و تداخل خارجی) بر کانال نظیر از دست رفتن بسته ها و نیز نوسانات شدت سیگنال در نظر گرفته خواهد شد.

به منظور ارزیابی کارایی پروتکل تحلیل رقابت پیشنهادی و مقایسه آن با کارهای مرتبط از شبیه سازی استفاده خواهد شد. در اولین گام، پلتفرم سخت افزاری به همراه فرستنده/گیرنده رادیویی^{۱۴} متداول و استاندارد که با قابلیت های مورد نیاز سازگاری داشته باشد برای شبیه سازی انتخاب می شود. به منظور ارزیابی کامل تر، روش پیشنهادی در قالب یک پروتکل MAC شناخته شده پیاده سازی و سناریوهایی جهت مقایسه و ارزیابی تدوین خواهد شد. همچنین مقایسه پروتکل پیشنهادی با کارهای مرتبط از منظر نقاط ضعف و قوت به صورت مباحثه ای صورت خواهد گرفت. تحلیل کارایی از نظر پیچیدگی پیام های مبادله شده در شرایط متوسط و بدترین نیز تکمیل کننده این ارزیابی خواهد بود.

۶. برنامه زمانی

طرح پیشنهادی در طی مدت ۱۲ ماه طبق زمان بندی نشان داده شده در جدول ۱ انجام خواهد شد.

^{۱۴}Radio Transceiver

جدول ۱: زمانبندی انجام پروژه

زمان (ماه)												فعالیت
۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
												مطالعه مقالات مرتبط
												طراحی پروتکل تحلیل رقابت
												شبیه سازی پروتکل پیشنهادی
												پیاده سازی در قالب پروتکل MAC
												تعریف سناریو و انجام ارزیابی
												تحلیل کارایی پروتکل
												تدوین مقاله تحلیل رقابت
												تدوین مقاله مروری

۷. ابزار مورد نیاز

پیاده سازی و ارزیابی پروژه به صورت شبیه سازی خواهد بود و یک دستگاه رایانه شخصی مورد نیاز خواهد بود.

۸. بودجه

بخش اصلی بودجه مورد نیاز حق التحقیق مجری طرح می باشد. در صورت تمایل پژوهشگر به پیاده سازی طرح بر روی پلتفرم سخت افزاری هزینه تجهیزات مورد نیاز هم اضافه خواهد شد. در این صورت لیست قطعات مورد نیاز در قالب LOM تهیه و جهت خریداری تقدیم خواهد گردید.

مراجع

- [۱] Mohammad Abdur Razzaque, Muta Tah Hira, and Mukta Dira. Qos in body area networks: A survey. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), ۲۵:۴۶-۲۵:۱:(۳) ۱۳. ۲۰۱۷
- [۲] Mahdi Zareei, A.K.M. Muzahidul Islam, Cesar Vargas-Rosales, Nafees Mansoor, Shidrokh Goudarzi, and Mubashir Husain Rehmani. Mobility-aware medium access control protocols for wireless sensor networks: A survey. Elsevier Journal of Network and Computer Applications, ۳۷-۱۰۴:۲۱. ۲۰۱۸
- [۳] Rabia Noor Enam and Rehan Qureshi. An adaptive data aggregation technique for dynamic cluster based wireless sensor networks. In Proceedings of the ۲۳rd International Conference on Computer Communication and Networks, ICCCN'۱۴, pages ۷-۱ IEEE, ۲۰۱۴
- [۴] Dianhui Xu and Yingwei Yao. Splitting tree algorithm for decentralized detection in sensor networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, ۶۰:۳۳-۶۰:۲۴:(۱۲) ۱۲ December ۲۰۱۳

- [5] Vahid Salmani and Pai H. Chou. Resilient round robin: A lightweight deterministic mac primitive. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 13:38–31:1:(2)11 December .2014
- [6] Philip Parsch and Alejandro Masrur. A slot sharing TDMA scheme for reliable and efficient collision resolution in WSNs. In *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, MSWiM'16*, pages .220–213 ACM, November .2016
- [7] Murali Kodialam and Thyaga Nandagopal. Fast and reliable estimation schemes in RFID systems. In *Proceedings of the 12th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom'06*, pages .333–322 ACM, .2006
- [8] Douglas Carlson and Andreas Terzis. Flip-MAC: A density-adaptive contention-reduction protocol for efficient any-to-one communication. In *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS'11*, pages .8–1 IEEE, .2011
- [9] Fredrik Österlind, Luca Mottola, Thiemo Voigt, Nicolas Tsiftes, and Adam Dunkels. Straw-man: resolving collisions in bursty low-power wireless networks. In *Proceedings of the 11th international conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN'12*, pages .172–161 ACM, April .2012
- [10] Xiaoyu Ji, Yuan He, Jiliang Wang, Wei Dong, Xiaopei Wu, and Yunhao Liu. Walking down the STAIRS: Efficient collision resolution for wireless sensor networks. In *Proceedings of the 33rd IEEE International Conference on Computer Communications, INFOCOM'14*, pages .969–961 IEEE Computer Society, April .2014
- [11] Dingming Wu, Guihai Chen, Chao Dong, Shaojie Tang, and Haipeng Dai. Simultaneous query for wireless sensor networks: A power based solution. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 14:488–475:(2)15 Feb. .2016
- [12] Daibo Liu, Zhichao Cao, Mingyan Liu, Mengshu Hou, and Hongbo Jinag. Contention-detectable mechanism for receiver-initiated MAC. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS)*, 13:27–31:1:(4)18 June .2019
- [13] Tengfei Chang, Thomas Watteyne, Xavier Vilajosana, and Pedro Henrique Gomes. Constructive interference in :4.15.8.2 A tutorial. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, pages .1–1 .2018
- [14] Vahid Salmani et al. Making Most of Packet Collisions towards More Efficient Contention Resolution. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, .2020 (revised, under review).
- [15] Vahid Salmani. Survey, Taxonomy and Criticism of CR... *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*. (under preparation).
- [16] Vahid Salmani and Pai H. Chou. Intra-cluster contention resolution in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Multiple Access Communications*, volume 7642 of *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, pages .181–170 Springer, .2012