

بررسی کارایی 802.11e-EDCA متناسب با نیازمندی‌های کیفی و کمی شبکه‌های امروزی و ارائه راهکاری برای بهبود آن

حمیدرضا محمدی¹، علی قیاسیان²، سیمین السادات بدری³

¹دانشگاه صنعتی اصفهان، hrmmohammadi@ec.iut.ac.ir

²دانشگاه شهرکرد، ghiasian.ali@eng.sku.ac.ir

³دانشگاه صنعتی امیرکبیر، s.badri@aut.ac.ir

چکیده - استاندارد 802.11e-EDCA در سال 2005 با هدف ارائه کیفیت سرویس در شبکه‌های مبتنی بر 802.11 منتشر شد. انتشار این استاندارد به نوبه خود گام مهمی در راستای ارائه کیفیت سرویس در شبکه‌های محلی بی‌سیم محسوب می‌شود. با این حال به نظر می‌رسد با ظهور کاربردهای جدید و همچنین تحولات صورت گرفته در حوزه استفاده از این شبکه‌ها لزوم بهبود این استاندارد متناسب با نیازمندی‌های نو ضروری است. از این رو در این مقاله به بررسی عملکرد 802.11e-EDCA پرداخته، سپس راهکاری برای بهبود عملکرد آن در شرایط افزایش کاربران نیازمند کیفیت سرویس ارائه می‌شود. در این راهکار مکانیزم TDMA به نحوی بسط داده می‌شود تا در درجه اول بتوان آن را در چهارچوب اصول حاکم بر 802.11e-EDCA به کار بست و در درجه بعدی بتوان تاثیر نقاط ضعف آن نظیر حساسیت به واریانس تعداد کاربران را کاهش داد. کلید واژه - استاندارد 802.11e، کیفیت سرویس، لایه MAC، مکانیزم EDCA

متمرکز است که در آن موجودیتی به نام HC (که در عمل همان AP) است، وظیفه ارائه مجوز دسترسی به کانال را بر عهده دارد. پیاده‌سازی این شما به دلیل مشکلات عملکردی [5] و پیاده‌سازی چندان مورد توجه قرار نگرفته و معمولاً به صورت تجاری پیاده‌سازی نمی‌شود [6]. در مقابل EDCA یک شمای توزیع-یافته را معرفی می‌کند که بدون نیاز به یک HC قادر است دسترسی به کانال را از طریق رقابت بین دستگاه‌ها امکان‌پذیر نماید. EDCA مبتنی بر مکانیزم DCF طراحی شده و در واقع تکامل یافته آن محسوب می‌گردد.

2-1 مکانیزم EDCA

در مکانیزم EDCA ترافیک‌ها به چهار گروه دسترسی یا به اختصار AC تقسیم می‌شوند. این چهار گروه به ترتیب اولویت با نام‌های AC_VO، AC_VI، AC_BE و AC_BK شناخته می‌شوند. گروه دسترسی AC_VO برای ترافیک‌های صدا نظیر VoIP، گروه AC_VI برای ترافیک‌های ویدئو نظیر IPTV، گروه AC_BE برای کاربردهای معمول مانند جستجوی وب و گروه AC_BK برای ترافیک‌های پس‌زمینه نظیر ترافیک مربوط به چاپگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

متناظر با هر گروه دسترسی یک صف وجود دارد. برای هر یک از این صف‌ها یک EDCAF جداگانه تعریف می‌شود [7]. EDCAF در واقع موجودیتی است که وظیفه رقابت برای دسترسی به کانال را برای فریم‌های مرتبط با گروه دسترسی

1- مقدمه

استاندارد 802.11 بدون شک محبوب‌ترین استاندارد حال حاضر در حوزه شبکه‌های محلی بی‌سیم محسوب می‌شود. این استاندارد یک مکانیزم ساده و در عین حال با عملکرد مناسب جهت دسترسی به کانال بی‌سیم ارائه می‌دهد. این سادگی به نوبه خود پیاده‌سازی راحت‌تر، هزینه کمتر و همچنین امکان برپایی سریع شبکه محلی بی‌سیم را موجب می‌شود [1]. نسخه اولیه این استاندارد که در سال 1997 انتشار یافت، عمدتاً با هدف ارائه سرویس بهترین تلاش طراحی و پیاده‌سازی شد [2]. با گذشت زمان و افزایش انگیزه استفاده از کاربردهای با نیازمندی‌های کیفیت سرویس متفاوت، لزوم تمایز سرویس در این شبکه‌ها نمایان شد. از این رو در سال 2005 نسخه 802.11e با هدف ارائه کیفیت سرویس در شبکه‌های محلی بی‌سیم انتشار یافت [3].

1-1 استاندارد 802.11e

استاندارد 802.11e از لایه MAC موسوم به HCF استفاده می‌کند [4]. HCF خود دو مکانیزم HCCA و EDCA را برای دسترسی به شبکه به همراه پشتیبانی از کیفیت سرویس ارائه می‌دهد. HCCA بهبود یافته مکانیزم PCF در نسخه‌های قبلی محسوب می‌شود. این مکانیزم یک شمای دسترسی به کانال

شده است. این فرآیند توسط یک مکانیزم جداسازی ترافیک کامل می‌شود.

قدرت این شما در مدیریت فریم‌های RT به ویژه برای حالتی است که تعداد دستگاه‌های RT به نسبت زیاد بوده باشد. اما در مورد نقاط ضعف آن مشکل اصلی این شما در درجه اول پیچیدگی آن می‌باشد. از طرفی مشکل کلی شما TDMA نیز در این شما مشاهده می‌شود. چرا که حتی اگر یک دستگاه، مدتی داده برای ارسال نداشته باشد، بازهم ناگزیر توکن دریافت خواهد کرد و در نتیجه استفاده بهینه از کانال نخواهیم داشت. به عبارت دیگر این شما برای الگوهای ترافیکی پررودیک بسیار کاراست اما لزوماً برای سایر ترافیک‌ها عملکرد مناسبی نخواهد داشت.

در [11] یک مکانیزم مبتنی بر TDMA در بستر پروتکل EDCA به منظور پشتیبانی از کیفیت سرویس با اطمینان بالا برای دستگاه‌های RT پیشنهاد شده است. ایده اصلی آن بر این پایه استوار است که از فریم‌های beacon برای سنکرون کردن دستگاه‌های RT استفاده شود و به هر دستگاه RT یک اسلات مشخص تعلق گیرد که تنها مختص آن دستگاه RT باشد. در طول این اسلات مشخص، دستگاه RT مربوطه تنها با دستگاه‌های عادی رقابت خواهد کرد.

در مورد نقاط قوت این مقاله باید اشاره کرد که برای ترافیک‌های پررودیک RT عملکرد خوبی خواهد داشت. اما از مشکلات این شما آن است که تعداد دستگاه‌های RT را ثابت فرض می‌کند. همچنین در این شما احتمال بروز مشکلات سنکرون سازی وجود دارد. برای مثال هنگامی که یک دستگاه عادی در اواخر اسلات مربوط به یکی از دستگاه‌های RT، کانال را به دست گیرد و از حداکثر TXOP خود استفاده کند، ارسال دستگاه RT بعدی با مشکل مواجه خواهد شد و چه بسا موجب ناکارآمدی فریم TDMA گردد. از این رو این شما برای حل این مشکل مجبور به تعریف یک زمان گارد یا زمان حفاظتی پس از هر اسلات شده است که به نوبه خود موجب عدم استفاده بهینه از کانال می‌گردد. از طرفی این شما مشکلات کلی مکانیزم TDMA را با خود دارا می‌باشد که در بالا به آن اشاره شد.

در [13] نیز راهکاری در چهارچوب مقاله قبل و بر پایه TDMA ارائه شده است. به عبارت دیگر در آن یک فرجه سرویس تعریف شده و برای هر دستگاه RT یک اسلات متناظر فرض می‌گردد. طبیعتاً هر دستگاه RT فقط در اسلات خود قادر به رقابت خواهد بود. همچنین رقابت در هر اسلات به نحوی تعریف می‌شود که دستگاه RT بتواند سریع‌تر از سایر دستگاه‌ها

مربوطه بر عهده دارد. البته این رقابت به نحوی تعریف می‌شود که احتمال موفقیت EDCAهای با اولویت بالاتر بیشتر باشد. نحوه ایجاد این تمایز سرویس از طریق دستکاری پارامترهای تعریف شده در این شما انجام می‌گیرد. این پارامترها عبارتند از: پنجره رقابت کمینه، پنجره رقابت بیشینه، AIFS و TXOP [2]. پنجره رقابت کمینه و پنجره رقابت بیشینه به لحاظ ساختاری مشابه با تعریف آن‌ها در مکانیزم DCF می‌باشند. AIFS نیز به لحاظ ساختاری مشابه با DIFS در مکانیزم DCF می‌باشد. اما پارامتر TXOP مختص 802.11e بوده و در نسخه‌های قبلی پارامتر مشابهی برای آن وجود ندارد. TXOP در واقع حداکثر مدت زمانی است که EDCA مربوطه پس از در اختیار گرفتن کانال می‌تواند همچنان کانال را در دست داشته باشد.

2- بهبود کیفیت سرویس مبتنی بر مکانیزم EDCA

استاندارد 802.11e در سال 2005 ارائه شد که در نوع خود گام مهم و موثری در جهت ارائه کیفیت سرویس در شبکه‌های محلی بی سیم محسوب می‌شود. با این حال رشد سریع تعداد دستگاه‌های قابل حمل دارای قابلیت دسترسی به شبکه بی سیم نظیر گوشی‌های هوشمند، افزایش قابل توجه استفاده از کاربردهای نیازمند پهنای باند بالا، افزایش کاربردهای حساس به تاخیر و تغییرات تاخیر نظیر VoIP و IPTV و همچنین انگیزه برای استفاده از این فناوری در حوزه اتوماسیون صنعتی [8] [9] [10]، توجه محققان را به سمت بهبود کارایی EDCA که مکانیزم رایج دسترسی به رسانه در این استاندارد می‌باشد، جلب کرده است.

در کل پژوهش‌های صورت گرفته به منظور بهبود استاندارد 802.11e از یکی از روش‌های TDMA، Token Passing، Master-Slave و polling استفاده کرده‌اند [11]. در این میان روش‌های مبتنی بر polling و Master-Slave به دلیل ذات متمرکز بودنشان، در مقابل چهارچوب اصلی مکانیزم EDCA که یک پروتکل توزیع یافته است، قرار می‌گیرند. از این رو نمی‌توان آنها را به عنوان بهبود یافته پروتکل EDCA در چهارچوب اصول حاکم بر آن در نظر گرفت. اما روش‌های TDMA و Token Passing در صورتی که بتوانند تا حد مقبولی به صورت توزیع یافته پیاده سازی شده و به نحوی با چهارچوب‌های اصلی پروتکل EDCA سازگاری یابند، قابل استفاده خواهند بود.

در [12] ساختاری با عنوان VTP-CSMA پیشنهاد شده است. VTP-CSMA بر اساس کنترل دسترسی به رسانه توسط دست به دست کردن یک توکن مجازی بین دستگاه‌های RT بنا

کانال را به دست گیرد.

نقطه قوت این پژوهش، حذف زمان حفاظتی تعریف شده در پژوهش قبل است. اما همچنان سایر ضعف‌های موجود در پژوهش قبل در این جا نیز قابل بیان است.

1-2- مکانیزم ETDMA

در حالت کلی دو رویکرد برای دسترسی به رسانه بی سیم می‌توان در نظر گرفت. روش‌های معین و روش‌های نامعین. در روش‌های معین مانند TDMA نحوه تخصیص کانال به هر کاربر از قبل معلوم و مشخص است. اما در روش‌های نامعین مانند CSMA نحوه تخصیص کانال به هر کاربر از قبل کاملاً مشخص نبوده و همواره امکان تخصیص کانال به هر کاربر به صورت احتمالی بیان می‌شود.

در این میان پروتکل EDCA، از مکانیزم CSMA/CA بهره می‌برد که جزء روش‌های نامعین محسوب می‌شود. نقطه ضعف اصلی روش‌های نامعین افزایش احتمال برخورد بین کاربران در مواردی است که متوسط تعداد کاربران از حدی فراتر رود. از طرفی در بحث کیفیت سرویس ما نیازمندیم تا سرویس ارائه شده را به صورت آماری تا حد قابل قبولی تضمین کنیم. بنابراین برخورد فریم‌های مربوط به ترافیک‌های مشمول کیفیت سرویس می‌تواند ما را با مشکل روبه رو کند. از سوی دیگر بهره‌گیری مستقیم از روش‌های معین گرچه مشکل فوق را حل می‌کند اما مشکلات مختص این روش‌ها از جمله حساسیت بالا به واریانس تعداد کاربران و نیازمندی به الگوی ترافیکی معین برای عملکرد مناسب را با خود به همراه خواهند داشت. بنابراین در این قسمت به معرفی راهکار TDMA بسط یافته یا به اختصار ETDMA می‌پردازیم که سعی می‌کند ضمن بهره‌گیری از نقاط قوت هر دو رویکرد معین و نامعین تا حد امکان از تأثیرات نامطلوب هر یک بکاهد. حاصل پژوهش انجام شده در [14] نیز استفاده ترکیبی از دو رویکرد مذکور را پیشنهاد می‌کند.

در این راستا هدف خود را کاهش احتمال وقوع برخورد فریم‌ها تعریف می‌کنیم. زیرا همانطور که اشاره شد افزایش برخورد فریم‌ها هنگام افزایش تعداد کاربران از موانع دستیابی به کیفیت سرویس مطلوب محسوب می‌شود. فرض بر این است که کاربران، الگوی ترافیکی معینی نداشته و نیز در هر لحظه کاربران می‌توانند از شبکه خارج یا عضو شبکه شوند. همچنین فرض می‌شود اطلاع قبلی نسبت به متوسط تعداد کاربران موجود بوده و واریانس تعداد کاربران از حد معینی بیشتر نباشد. در ادامه به

ذکر جزئیات راهکار مورد نظر می‌پردازیم.

AP و سایر دستگاه‌ها یک تایمر بالاشمار محلی با نام تایمر گروه‌بند یا به اختصار CC خواهند داشت. این تایمر از 1 تا GN و با افزایش یک واحد در هر timeslot شمرده و پس از رسیدن به مقدار GN دوباره به حالت اول بازگشته و به کار خود ادامه می‌دهد. عدد GN، بیانگر تعداد گروه‌های زمانی تعریف شده در شبکه است. زمان شروع به کار تایمر در تمام دستگاه‌ها، از جمله خود AP توسط AP و با ارسال فریم beacon حاوی پرچم شروع به کار تایمر مشخص خواهد شد.

AP به هنگام وصل شدن هر دستگاه به شبکه، در طول فرآیند اتصال، یک شماره گروه از اعداد 1 تا GN را به هر دستگاه اعلام خواهد کرد که پس از آن، عدد مذکور به عنوان گروه زمانی آن دستگاه، تلقی خواهد شد. نحوه تخصیص این شماره به دستگاه‌ها نیز به صورت round-robin می‌باشد.

حال EDCAهای موجود در دستگاه مربوطه تنها در زمان‌هایی حق کاهش تایمر backoff خود را خواهند داشت که شماره تایمر گروه بند برابر با شماره گروه زمانی آن دستگاه قرار گیرد. به عبارت دیگر تساوی $CC_i = GN_i$ برقرار باشد. بنابراین EDCAهای موجود در دستگاه، تنها در زمان‌های متعلق به گروه خود، حق رقابت برای دسترسی به کانال را خواهند داشت. به عبارت دیگر، امکان ندارد یک دستگاه در زمانی غیر از گروه زمانی متعلق به خود، ارسالی داشته باشد.

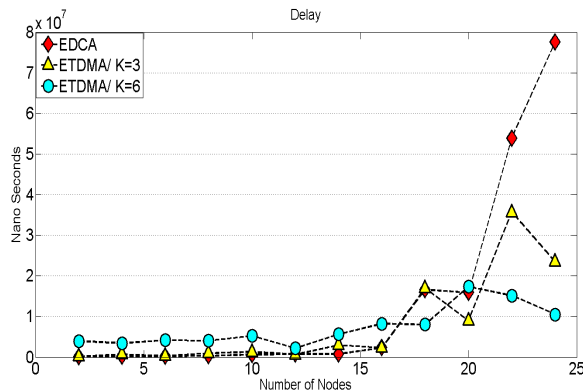
در عمل مقدار GN در بازه $1 < GN < N$ خواهد بود که N نمایانگر تعداد دستگاه‌های موجود در شبکه است. روشن است هر چه مقدار k افزایش یابد، مکانیزم مورد نظر به TDMA نزدیک‌تر شده و در حالت حدی وقتی GN برابر با تعداد دستگاه‌های عضو شبکه باشد، عملاً تبدیل به یک مکانیزم TDMA خواهد شد. از طرفی هر چه k کوچک‌تر انتخاب شود، عملکرد به مکانیزم EDCA نزدیک‌تر خواهد بود. بنابراین انتخاب مناسب GN متناسب با نیازمندی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است.

از آنجا که در این راهکار بیش از یک کاربر می‌تواند به یک گروه زمانی تعلق داشته باشد. بنابراین بر خلاف TDMA حساسیت زیادی به اضافه و کم شدن تعداد کاربران وجود نخواهد داشت. همچنین از آنجا که تعداد کاربران در حال رقابت در هر لحظه از زمان نسبت به EDCA کاهش می‌یابد، انتظار کاهش نسبی برخوردها وجود دارد.

2-2- شبیه سازی

به منظور شبیه‌سازی از ابزار ns-3 نسخه 22 استفاده شده

است. توپولوژی مورد استفاده در شبیه سازی شامل یک شبکه WiFi در مد زیربنایی با قابلیت ارائه کیفیت سرویس مبتنی بر استاندارد 802.11e-EDCA است. نود دارای دو رابط شبکه؛ یک رابط WiFi برای ارتباط با نودهای بی سیم و یک رابط Point-To-Point برای اتصال به یک نود سینک است. هر یک از نودهای بی سیم سعی می کنند ترافیک خود را از طریق AP به نود سینک که نماینده مقصدی خارج از شبکه WiFi است ارسال کنند. برای مدل سازی تأخیر انتشار از مدل ConstantSpeedPropagationDelayModel و برای مدل سازی تلفات انتشار کانال از مدل LogDistancePropagationLoss-Model موجود در ns-3 استفاده شده است.



شکل 2: نمودار متوسط تأخیر بر حسب افزایش تعداد کاربران

در شکل 1 نمودار متوسط نرخ دریافت ترافیک AC_VO نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود به ازای تعداد نودهای بالاتر از 14 نرخ دریافت مکانیزم ETDMA نسبت به EDCA بهبود می یابد به گونه ای که این بهبود به ازای تعداد نود 24 برای ETDMA با گروه زمانی 6 برابر یا 312 کیلوبیت در ثانیه می باشد. همچنین همانطور که مشاهده می شود ETDMA با تعداد گروه زمانی 6 نسبت به ETDMA با تعداد گروه زمانی 3 عملکرد بهتری به ازای تعداد نودهای بالاتر از 14 نشان می دهد که بیانگر رابطه مستقیم تعداد گروه های زمانی تعریف شده با کیفیت سرویس در شرایط بالا رفتن تعداد نودها می باشد.

در شکل 2 متوسط تأخیر به ازای افزایش تعداد نودها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، مکانیزم ETDMA به ازای تعداد نودهای کمتر از 18 به لحاظ پارامتر تأخیر عملکرد ضعیف تری نسبت به EDCA به نمایش می گذارد که این واقعه قابل انتظار بود. چرا که به ازای تعداد نودهای کم عملاً در EDCA برخورد قابل توجهی نخواهیم داشت و استفاده از ETDMA تنها یک محدودیت اضافی بر نودها اعمال می کند که موجب تأخیر بیشتر در ارسال فریم ها می گردد. اما همانطور که مشاهده می شود با افزایش تعداد نودها به بالاتر از 18، ETDMA کارایی بهتری از خود نشان می دهد. از دیگر نکات قابل بیان دقت در انتخاب تعداد گروه زمانی در مکانیزم ETDMA می باشد. چرا که با افزایش مقدار این پارامتر همانطور که کارایی برای تعداد نودهای بالاتر بهبود می یابد، کارایی آن برای تعداد نودهای کمتر از حد معین به ضعف می گراید.

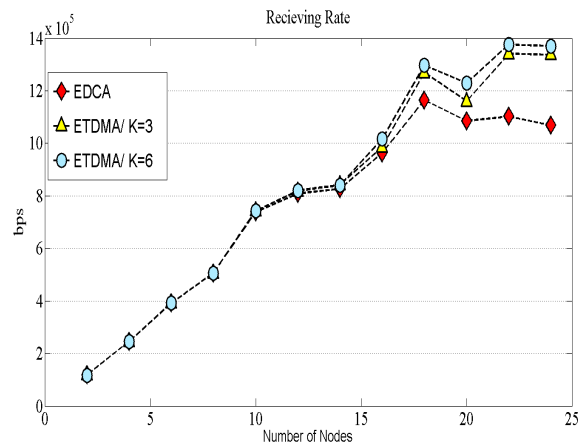
نودهای بی سیم همگی در لایه فیزیکی خود از استاندارد 802.11a بهره می برند. نودها ثابت و بدون حرکت فرض شده اند و به صورت تصادفی در فضایی مستطیلی شکل با ابعاد 10×10 متر مربع قرار می گیرند. جهت سادگی تحلیل نتایج، تمام نودها تنها ترافیک از نوع AC_VO ارسال می کنند. نرخ ارسال هر نود برابر با 180 کیلوبیت در ثانیه و طبق توزیع پواسون با میانگین 5/ در نظر گرفته شده است.

نحوه تعریف پارامترهای موجود در شبیه سازی به صورت زیر است:

نرخ دریافت: منظور از این پارامتر تعداد فریم های صحیح دریافت شده توسط لایه MAC نود مقصد می باشد.

تأخیر: منظور از این پارامتر مدت زمان سپری شده از لحظه تولید فریم در لایه کاربرد نود مبدا تا لحظه دریافت (صحیح) آن در لایه MAC نود مقصد می باشد.

نتایج شبیه سازی در شکل های 1 و 2 نشان داده شده است.



شکل 1: نمودار متوسط نرخ دریافت بر حسب افزایش تعداد کاربران

3- نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله بهبود عملکرد 802.11e-EDCA به هنگام افزایش تعداد کاربران نیازمند کیفیت سرویس بود. در همین راستا مکانیزم TDMA به نحوی بسط داده شد تا در درجه اول بتوان آن را در چهارچوب اصول حاکم بر EDCA به کار بست و در درجه بعدی بتوان تاثیر نقاط ضعف آن، نظیر حساسیت به واریانس تعداد کاربران در شبکه را کاهش داد. ویژگی دیگر این راهکار حفظ سادگی فرآیند دسترسی به رسانه در مکانیزم EDCA و عدم نیاز به تغییرات در سطح سخت افزار می‌باشد.

مراجع

- [1] F. Larroca and F. Rodr, "An Overview of WLAN Performance , Some Important Case-Scenarios and their Associated Models," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 79, no. 1, pp. 131–184, 2014.
- [2] Q. Ni, "Performance analysis and enhancements for IEEE 802.11 e wireless networks," *Network, IEEE*, vol. 19, no. 4, pp. 21–27, 2005.
- [3] S. Banerji and R. S. Chowdhury, "On IEEE 802.11: Wireless Lan Technology," *Int. J. Mob. Netw. Commun. Telemat.*, vol. 3, no. 4, pp. 45–64, 2013.
- [4] IEEE, *IEEE Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, vol. 2012, no. March. 2012.
- [5] Q. Leng, Y. H. Wei, S. Han, A. K. Mok, W. Zhang, M. Tomizuka, "Improving Control Performance by Minimizing Jitter in RT-WiFi Networks," *IEEE Symposium, RTSS2014*, pp. 63-73, 2014.
- [6] G. R. Hiertz, D. Denteneer, L. Stibor, Y. Zang, X. P. Costa, and B. Walke, "The IEEE 802 . 11 Universe," no. January, pp. 62–70, 2010.
- [7] Zh. Kong, D. H. Tsang, B. Bensaou, and D. Gao, "Performance analysis of IEEE 802.11e contention-based channel access," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 10, pp. 2095– 2106, 2004.
- [8] G. Boggia, P. Camarda, L. Grieco, and G. Zacheo, "An experimental evaluation on using TDMA over 802.11 MAC for Wireless Networked Control Systems," *2008 IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom.*, pp. 1157–1160, 2008.
- [9] G. Cena, I. C. Bertolotti, A. Valenzano, and C. Zunino, "Industrial Applications of IEEE 802 . 11e WLANs," *IEEE Int. Work. Fact. Commun. Syst. - Proceedings, WFCS*, pp. 129-138, 2008.
- [10] H. Trsek, L. Wisniewski, E. Toscano, and L. Lo Bello, "A flexible approach for real-time wireless communications in adaptable industrial automation systems," *Etfa2011*, pp. 1–4, 2011.
- [11] R. Moraes, F. Vasques, and P. Portugal, "A TDMA-based mechanism to enforce real-time behavior in WiFi networks," *IEEE Int. Work. Fact. Commun. Syst. - Proceedings, WFCS*, pp. 109–112, 2008.
- [12] R. Moraes, F. Vasques, P. Portugal, and J. A. Fonseca, "VTP-CSMA: A virtual token passing approach for real-time communication in IEEE 802.11 wireless networks," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 3, no. 3, pp. 215–224, 2007.
- [13] R. Costa, P. Portugal, F. Vasques, R. Moraes, and R. F. Custódio, "A coordination layer to handle real-time communication in Wi-Fi networks with uncontrolled traffic sources," *Proc. - Conf. Local Comput. Networks, LCN*, pp. 263–266, 2011.
- [14] G. Cena, S. Member, L. Seno, A. Valenzano, and C. Zunino, "On the Performance of IEEE 802 . 11e Wireless Infrastructures for Soft-Real-Time Industrial Applications," *Ind. Informatics, IEEE Trans.*, vol. 6, no. 3, pp. 425–437, 2010