

MS-MAC: یک پروتکل کنترل دسترسی به رسانه با راندمان انرژی بالا و تأخیر کم برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم

محسن سریانی
استادیار
دانشگاه علم و صنعت ایران
soryani@iust.ac.ir

محمود فتحی
دانشیار
دانشگاه علم و صنعت ایران
mahfathy@iust.ac.ir

امیر عادل‌پور
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه علم و صنعت ایران
a_adelipour@comp.iust.ac.ir

کنترل دسترسی به رسانه در شبکه‌های حسگر نسبت به شبکه‌های سنتی تفاوت‌های زیادی دارد و این به دلیل محدودیتهای موجود در توانایی محاسباتی، ذخیره و منابع انرژی است. برای طراحی یک پروتکل MAC مناسب برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، باید صفات زیر در نظر گرفته شود [1].

مصرف مؤثر انرژی: همانطور که گفته شد گره‌های حسگر با انرژی باطری تغذیه می‌شوند و اغلب، تعویض و یا شارژ مجدد باطری گره‌ها مشکل است. در حقیقت انتظار می‌رود، روزی گره‌ها به قدری ارزان شوند که دور انداختن آنها باصرفه‌تر از شارژ مجدد آنها باشد. طول عمر چنین شبکه‌هایی یک مساله حیاتی می‌باشد.

اجتناب از تصادم: اجتناب از تصادم یکی از وظایف اصلی همه پروتکل‌های MAC می‌باشد. این مساله بیانگر این است که یک گره چه وقت و چطور به رسانه دسترسی یابد و داده خود را ارسال کند.

مقیاس پذیری: منظور از مقیاس‌پذیری، قابلیت تغییر در اندازه، چگالی و توپولوژی شبکه می‌باشد. برخی گره‌ها ممکن است از بین بروند یا گره‌های جدید به شبکه اضافه شوند و یا برخی از گره‌ها به مکانهای دیگر برده شوند. توپولوژی شبکه در طول زمان به دلایل زیادی تغییر می‌کند. همچنین یک پروتکل MAC خوب باید خود را با تأخیر، توان عملیاتی و پهنای باند وفق دهد.

۲- کارهای انجام شده

یکی از پروتکل‌های پایه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پروتکل SMAC می‌باشد. پروتکل SMAC تغییر یافته IEEE 802.11 می‌باشد که در آن گره‌های حسگر دارای دوره‌های خواب و بیداری متناوب می‌باشند. در شکل ۱ گوش دادن و خوابیدن دوره‌ای نشان داده شده است. در این پروتکل گره‌ها به صورت دوره‌ای به خواب می‌روند که این مشخصه باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، ولی از طرف دیگر این رفتار باعث

چکیده: در این مقاله یک پروتکل کنترل دسترسی به رسانه (MS-MAC) برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌شود که دارای راندمان انرژی بالا و تأخیر کم است. این پروتکل از بازه‌های خواب و بیداری مجزا برای هر گره حسگر استفاده می‌کند. اغلب پروتکل‌های پیشنهاد شده برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مخصوصاً شبکه‌های با تراکم بالا در شرایط ترافیکی سنگین، ناکارآمد هستند. زیرا تصادم در شبکه‌های با تراکم بالا در شرایط ترافیکی سنگین زیاد رخ می‌دهد و همچنین تأخیر خواب طولانی است. در این پروتکل هر گره در هر سیکل کاری دارای بازه خواب و بیداری متفاوتی می‌باشد و گره فرستنده فقط در بازه خواب و بیداری مربوط به گیرنده در رقابت بر سر تصاحب کانال شرکت می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که MS-MAC می‌تواند مصرف انرژی و تأخیر صف‌بندی بسته‌ها را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پروتکل دسترسی به رسانه، انرژی مصرفی، تأخیر، بازه خواب و بیداری.

۱- مقدمه

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مصرف انرژی مهمترین عامل برای تعیین طول عمر شبکه است به این دلیل که گره‌های حسگر با انرژی باطری کار می‌کنند و منبع انرژی کم و محدودی دارند. این امر بهینه‌سازی مصرف انرژی را در شبکه‌های حسگر ضروری می‌سازد زیرا کم کردن مصرف انرژی باعث بیشتر کردن طول عمر شبکه می‌شود [1].

گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای انجام یک برنامه کاربردی مشترک، مثل مونیتور کردن عوامل محیطی با یکدیگر همکاری می‌کنند. یکی از خواص شبکه‌های حسگر بی‌سیم این است که به روش موردی به کار گرفته می‌شوند. بدین معنی که گره‌ها ممکن است برای یک مدت طولانی غیرفعال باشند و ناگهان در زمان تشخیص عاملی، فعال گردند.

TMAC تحت شرایط ترافیکی مختلف انرژی کمتری مصرف می‌کند اما این پروتکل هنوز بعضی از مشکلات SMAC از جمله تأخیر زیاد و توان عملیاتی پایین را دارا می‌باشد.

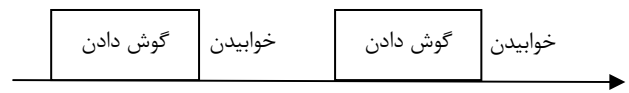
۳- پروتکل پیشنهادی

پروتکل پیشنهادی ما مشکلات تأخیر ایجاد شده توسط خواب گره‌ها و مشکل تصادم را با استفاده از تخصیص دوره‌های گوش دادن متفاوت به گره‌های حسگر تا حدی برطرف می‌کند. در این پروتکل گره فرستنده فقط در دوره بیداری گره گیرنده در رقابت بر سر دستیابی به رسانه شرکت می‌کند یعنی زمانیکه گره گیرنده برای دریافت داده آماده است فرستنده ارسال پیام برای گیرنده را آغاز می‌کند که همین مساله باعث می‌شود امکان تصادم کاهش یابد. همچنین این پروتکل نسبت به SMAC دارای دوره‌های گوش دادن کوتاه‌تری می‌باشد در نتیجه انرژی کمتری هدر می‌دهد و باعث بهبود کارایی توان مصرفی می‌شود.

در این پروتکل همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است هر ابرقاب شامل ۲ قسمت می‌باشد: یک دوره همزمان‌سازی که در این دوره سیگنال همزمان‌سازی ارسال می‌شود و یک دوره خواب و بیداری هر دوره خواب و بیداری به چندین تکه زمانی تقسیم می‌شود. ما به این تکه‌ها "بازه خواب و بیداری" می‌گوییم. هر گره دارای یک بازه زمانی برای ارسال و دریافت داده‌ها می‌باشد که می‌تواند در آن بازه زمانی بیدار شود. هر گره بعد از بازه بیداری مربوط به خود به خواب می‌رود تا زمانیکه بازه بیداری بعدی در ابرقاب بعدی فرا رسد.

مکان بازه بیداری مربوط به هر گره بستگی به شناسه آن گره دارد. برای هر گره یک عدد به عنوان شناسه در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال مکان هر بازه بیداری می‌تواند با استفاده از مقدار باقیمانده شناسه تقسیم بر تعداد بازه‌های بیداری بدست آید. تعداد بازه‌های خواب و بیداری در هر قاب به کاربرد شبکه مورد استفاده بستگی دارد. در شبکه‌های با تراکم بالا ممکن است نیاز به تعداد زیادی بازه خواب و بیداری باشد. در این حالت باید چندین گره یک بازه را به اشتراک بگذارند.

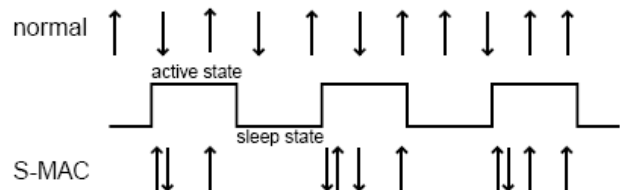
در این پروتکل همانند پروتکل SMAC تمام گره‌های حسگر در طول دوره همزمانی بیدار می‌شوند و برای پخش بسته SYNC با یکدیگر رقابت می‌کنند. گره‌ای که در این رقابت برنده می‌شود یک بسته SYNC به همسایگانش ارسال می‌کند تا آنها از اطلاعات زمانبندی این گره آگاه شوند. هر گره حسگر جدولی را نگهداری می‌کند که در آن اطلاعات همزمانی و زمانبندی خواب و بیداری همسایگانش قرار دارد. وقتی یک گره داده‌ای برای ارسال داشته باشد، به جدول اطلاعات زمانبندی خواب و بیداری نگاه می‌کند و مکان بازه مربوط به گیرنده را پیدا می‌کند و تا زمان فرا رسیدن این بازه منتظر می‌ماند. زمانی که فرستنده بازه بیداری گره گیرنده را دید ارسال RTS و دریافت



شکل (۱): گوش دادن و خوابیدن دوره‌ای در SMAC

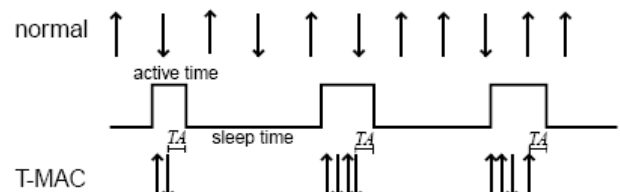
افزایش تأخیر می‌شود زیرا گره فرستنده در زمان ارسال باید منتظر شود تا دوره گوش دادن گره گیرنده فرا رسد و گره گیرنده بیدار شود.

SMAC از سه تکنیک جدید برای کاهش مصرف انرژی و پشتیبانی از خودسازماندهی استفاده می‌کند. برای کاهش مصرف انرژی در حالت گوش دادن به یک کانال بی‌کار، گره‌ها به طور دوره‌ای به خواب می‌روند. گره‌های همسایه کلاسترهای مجازی تشکیل می‌دهند تا زمانبندی خواب را به طور اتوماتیک همزمان‌سازی کنند. SMAC رادیو را در طی ارسال گره‌های دیگر به حالت خواب می‌برد. در نهایت SMAC، از روش ارسال پیام برای کاهش تأخیر رقابت در شبکه‌های حسگر استفاده می‌کند که نیاز به عمل ذخیره و ارسال برای فرستادن داده در طول شبکه دارد [2]. در شکل ۲ این پروتکل نشان داده شده است.

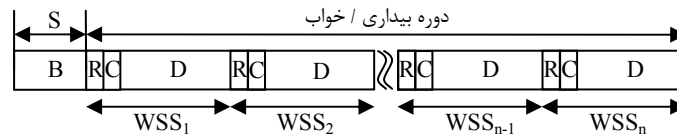


شکل (۲): سیکل کاری SMAC. فلشها پیامهای ارسال و دریافت شده را نشان می‌دهند. دقت کنید که در SMAC پیامها به یکدیگر نزدیکتر شده‌اند.

TMAC پروتکل دیگری برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد که با استفاده از دوره‌های خواب و بیداری وفق‌پذیر مشکلات انرژی SMAC را کاهش داده است. در TMAC اگر یک گره برای مدتی هیچ فعالیتی در گره‌های همسایه خود مشاهده نکند به خواب می‌رود [4]. در شکل ۳ مشخص است که اگر گره به مدت TA فعالیتی را مشاهده نکند به خواب می‌رود.



شکل (۳): پروتکل TMAC با بازه‌های زمانی وفق‌پذیر



S: دوره همگام‌سازی
 B: سیگنال همگام‌سازی
 WSS: بازه بیداری
 R: RTS ارسال و دریافت
 C: CTS ارسال و دریافت
 D: Data ارسال و دریافت

شکل (۴): ساختار قاب در پروتکل پیشنهادی

16. End;

17. IF (node(i) wants to transmit to node (j)) and
 (slot assigned to node(j)) THEN

18. Begin

19. Node(i) starts Back-off;

20. Node(i) transmit RTS;

21. IF (node(i) received CTS) THEN

22. Node(i) starts transmitting DATA to node(j);

23. End;

CTS برای رقابت بر سر ارسال داده آغاز می‌شود. اگر گره در این رقابت شکست خورد یعنی RTS را ارسال کرد ولی CTS را دریافت نکرد، باید تا ابرقاب بعدی صبر کند.

همانگونه که قبلاً گفته شد در پروتکل SMAC در هر بازه گوش دادن همه گره‌ها برای ارسال بسته‌های داده خود رقابت می‌کنند. اگر یک گره در رقابت شکست خورد باید تا بازه گوش دادن بعدی صبر کند. این مساله دلیل اصلی به وجود آمدن تأخیر در پروتکل SMAC می‌باشد. در صورتی که این پروتکل پیشنهادی می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد و همچنین مساله گوش دادن اضافی را تا حد زیادی برطرف کند به دلیل اینکه هر گره فقط در بازه بیداری مربوط به گره گیرنده موردنظر به رقابت بر سر ارسال داده می‌پیوندد.

در ادامه الگوریتم این پروتکل به صورت شبه کد آورده شده است.

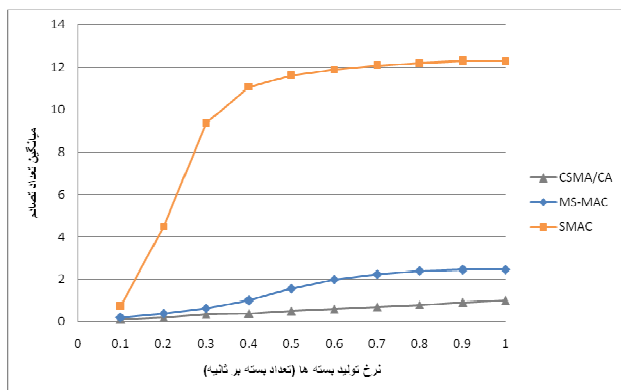
۴- شبیه‌سازی

ما کارایی مکانیزم‌های این پروتکل را با استفاده از شبیه‌ساز NS-2 ارزیابی کرده‌ایم. پارامترهای این شبیه‌سازی در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. برای سادگی در شبیه‌سازی، فرض می‌کنیم که تأخیر انتشار در لینک رادیویی صفر است و خطای انتقال وجود ندارد. مدل مصرف انرژی بر مبنای گره‌های حسگر واقعی می‌باشد که به صورت زیر است:

۰/۰۱۶ میلی‌وات در هنگام خواب، ۱۲/۳۶ میلی‌وات در هنگام گوش دادن اضافی، ۱۲/۵۰ میلی‌وات در هنگام دریافت داده و ۱۴/۸۸ میلی‌وات در هنگام ارسال یک بسته داده.

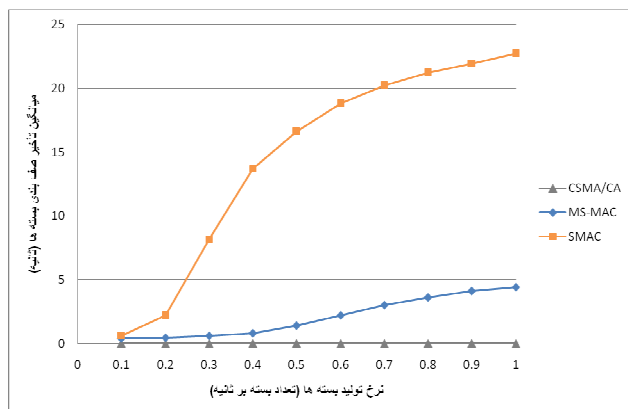
همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است شبیه‌سازی بر روی یک شبکه ایستا با ۹ گره حسگر انجام شده است. هر گره فرستنده به صورت یک منبع ترافیکی با نرخ ثابت (CBR) مدل شده است که دارای ۲۰ بسته برای ارسال می‌باشد. تعداد بازه‌های خواب و بیداری ۴ است. همانطور که قبلاً گفته شد، مکان بازه خواب و بیداری هر کدام از نودها با استفاده از باقیمانده شناسه نود بدست می‌آید. فرض می‌کنیم که ترافیک به صورت یک‌طرفه از گره‌های فرستنده به گره‌های گیرنده در جریان است. شبیه‌سازی تا زمانی ادامه می‌یابد که همه گره‌های فرستنده تمام بسته‌های خود را ارسال کنند.

1. Nodes go to sleep
2. IF (sync-period arrives) THEN
3. Begin
4. Nodes start Back-off
5. IF (node(i) wins contention) THEN
6. Send SYNC;
7. End;
8. IF (slot assigned to node(i)) THEN
9. Begin
10. Starts listening;
11. IF (receive RTS) THEN
12. Begin
13. Transmit CTS;
14. Start receiving DATA;
15. End;



شکل (۶): میانگین تعداد تصادم

در پروتکل MAC بدون خواب، هر گره فوراً شروع به حس کردن حامل (career sense) نموده و سپس سعی در ارسال بسته‌ها به گام بعدی می‌کند. در حالیکه پروتکل MAC با قابلیت خواب دوره‌ای دارای یک تأخیر اضافی به نام "تأخیر خواب" می‌باشد زیرا وقتیکه یک فرستنده بسته‌ای برای ارسال به گام بعدی دریافت می‌کند باید منتظر بماند تا گیرنده بیدار شود. بعلاوه اگر فرستنده در رقابت برای ارسال شکست بخورد باید تا زمانی که دوره بیداری بعدی فرا رسد به خواب رود که همین امر باعث افزایش تأخیر صف‌بندی می‌شود. حال آنکه پروتکل پیشنهادی ما دارای تأخیر کمتری حتی در بار ترافیکی سنگین می‌باشد زیرا این پروتکل رقابت بر سر ارسال را در بازه‌های مختلف توزیع می‌کند.

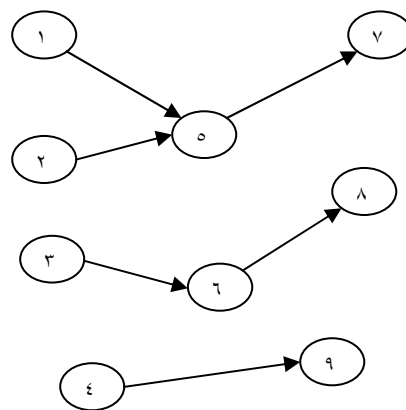


شکل (۷): میانگین تأخیر صف‌بندی بسته‌ها

شکل ۸ مقدار کل انرژی مصرف شده بوسیله گره‌ها را در شبکه تا پایان اجرای شبیه‌سازی نشان می‌دهد. ما انرژی مصرفی در پروتکل‌های MAC مذکور را در شرایط ترافیکی مختلف مقایسه کردیم. این شکل نشان می‌دهد که SMAC انرژی بیشتری نسبت به پروتکل پیشنهادی

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

پهنای باند رادیویی	۲۰ کیلو بیت بر ثانیه
سایز بسته‌های ACK, CTS, RTS	۲۰ بایت
سایز بسته‌های داده	۱۴۰ بایت
پنجره رقابت	۱۶ شکاف
طول زمانی سیگنال راهنما	۲۰ میلی ثانیه
طول زمانی هر قاب	۴۲۰ میلی ثانیه
طول زمانی گوش دادن در SMAC (سیکل کاری ۱۰٪)	۴۲ میلی ثانیه
طول زمانی بازه خواب و بیداری در MS-MAC	۱۰۰ میلی ثانیه
طول زمانی گوش دادن در MS-MAC	۲۰ میلی ثانیه



شکل (۵): توپولوژی شبکه دو گامی مورد استفاده در شبیه‌سازی

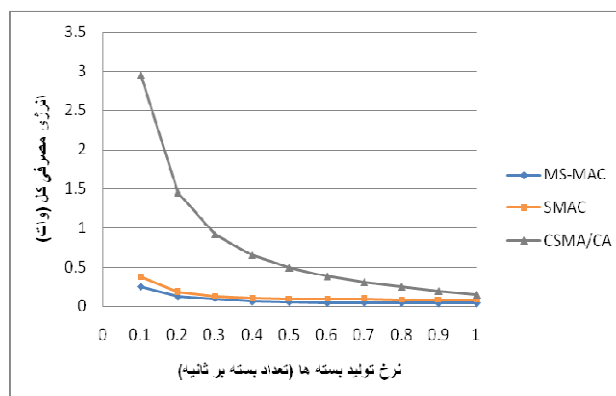
شکل ۶ میانگین تعداد تصادم را در شرایط ترافیکی مختلف نشان می‌دهد تا زمانیکه نودها تمام بسته‌های خود را ارسال کنند. ما برای مقایسه، پروتکل SMAC و پروتکل CSMA/CA را شبیه‌سازی کرده‌ایم. در پروتکل SMAC با خواب دوره‌ای هر گره به صورت سیکل کاری ۱۰٪ پیکربندی شده است.

پروتکل پیشنهادی ما تصادم کمتری را نسبت به SMAC موجب می‌شود زیرا در پروتکل پیشنهادی، نودها دارای زمانهای دریافت مختلفی هستند و هر نود سعی می‌کند فقط زمانی بسته خود را ارسال کند که گیرنده آماده باشد.

ما میانگین تأخیر صف‌بندی بسته‌ها را برای سه پروتکل مذکور در شرایط ترافیکی مختلف مقایسه کردیم. در شکل ۷ این مقایسه نشان داده شده است. در حالت کلی تأخیر صف‌بندی بستگی به بار ترافیکی دارد. در حالت ترافیک سنگین تأخیر صف‌بندی یک عامل غالب در تأخیر پروتکل MAC می‌باشد. در حالت ترافیک سبک تأخیر صف‌بندی وجود ندارد زیرا بسته‌های کمی در شبکه در حال انتقال هستند.

- [7] Yuan Li, Wei Ye, John Heidemann, "Energy and Latency Control in Low Duty Cycle MAC Protocols", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), March 2005, New Orleans, LA
- [8] Eun-Sun Jung, Nitin H. Vaidya, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs", in *IEEE Infocom, 2002*
- [9] Matthew J. Miller and Nitin Vaidya, "Minimization Energy Consumption in Sensor Networks Using a Wakeup Radio," in *Proc. Wireless Communications and Networking Conf.*, pp. 120-125, 2004
- [10] Gang Lu, Bhaskar Krishnamachari, Cauligi S. Raghavendra, "An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks," Proc. of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'04)
- [11] ns-2 Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

مصرف می‌کند به این دلیل که SMAC نسبت به این پروتکل ارسالات تکراری بیشتری انجام می‌دهد. اگرچه هر دو پروتکل در مقایسه با CSMA/CA انرژی کمتری مصرف می‌کنند زیرا از تکنیک زمانبندی خواب و بیداری دوره ای استفاده می‌کنند.



شکل (۸): انرژی مصرفی کل

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله پروتکلی جدید ارائه شد که دارای راندمان انرژی بالا و تأخیر کم می‌باشد. این پروتکل در هر سیکل کاری یکسان از بازه‌های خواب و بیداری مجزا استفاده می‌کند. در این پروتکل زمانیکه گره گیرنده آماده دریافت داده باشد گره فرستنده فقط در بازه بیداری مربوط به همان گیرنده در رقابت بر سر تصاحب کانال شرکت می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد پروتکل پیشنهادی می‌تواند تأخیر خواب را کاهش دهد و باعث کاهش مصرف انرژی شود.

۶- مراجع

- [1] I.F. Akyildiz, W.Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: a survey", Computer Networks, *IEEE communications Magazine*, pp: 102-116, August 2002.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", in *INFOCOM 2002*, pp 1567-1576, New York, Jun. 2002
- [3] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Volume: 12, Issue: 3, pp:493 - 506, June 2004.
- [4] T. V. Dam, K. Langendoen, "An Adaptive Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", in *ACM Sensys*, pp 171-180, Los Angeles, Nov. 2003
- [5] Plamondon K. Langendoen and G. Halkes, "Energy-Efficient Medium Access Control", Book chapter in the *Embedded System Handbook*, R. Zurawski (editor), CRC press, 2002
- [6] V. Rajendran, K. Obraczka, J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks", *Proc. ACM SenSys 03*, pp:181 - 192, Los Angeles, California, 5-7 November 2003.