

Revisão de protocolos de comunicação multicanal para redes de sensores sem fio

Isaías Bittencourt Felzmann

Acadêmico do curso de Engenharia de Computação – UFSM
ibfelzmann@gmail.com

Geovano Lago Quatrin

Acadêmico do curso de Engenharia de Computação – UFSM
geovano.quatrin@gmail.com

Carlos Henrique Barriquello

Orientador, doutor em Engenharia Elétrica, professor adjunto – UFSM
barriquello@gmail.com

Resumo. *O crescimento em número e complexidade das aplicações de redes de sensores sem fio exige que um protocolo eficiente de seleção de canais seja criado para este tipo de rede, com o objetivo de reduzir interferências. Além de ser compatível com as limitações de hardware impostas, tal protocolo deve apresentar problemas típicos de redes multicanal, como os problemas de surdez e terminal escondido. Embora muitas soluções já tenham sido propostas, em geral elas não atendem ao esperado para uma rede de sensores sem fio, deixando muitos problemas em aberto.*

Palavras-chave: *Rede de sensores sem fio. Comunicação multicanal. WSNs.*

1. INTRODUÇÃO

Redes de sensores sem fio (*WSNs* – *Wireless Sensor Networks*) são redes de pequenos dispositivos, embarcados e de baixo custo. Originalmente, eram desenvolvidas para aplicações de monitoramento que não exigem um fluxo de dados muito grande (MAINWARING et al., 2002).

Porém, com o crescimento em número e complexidade de possíveis aplicações para as *WSNs* (ZHOU, STANKOVIC e SON, 2006) há a necessidade de que mais dados

sejam trafegados em redes cada vez mais numerosas e densas. Assim, o número de nós de uma mesma rede ou redes diferentes compartilhando o mesmo meio é fator determinante para ocorrência de interferência na comunicação. Até mesmo simples equipamentos domésticos podem causar interferência eletromagnética em redes de sensores (SIMEK et al., 2011).

Quando dois ou mais dispositivos compartilham uma mesma faixa de frequências no espectro eletromagnético, é possível que haja interferência. Assim a possibilidade de comunicação em mais de uma faixa de frequência, ou canal (embora existam outras maneiras de divisão de canais, a partir de agora, para efeitos de compreensão, considerar-se-á um canal como uma faixa de frequência), é um modo eficiente de reduzir, ou até mesmo eliminar, o impacto de interferência, pois permite que o canal utilizado pela transmissão de dados seja alterado quando determinada faixa de frequências estiver ocupada ou sob forte influência de interferências externas. Para isso, é necessário que o *hardware* do módulo de rádio utilizado seja capaz de selecionar diferentes canais, funcionalidade já prevista pelo padrão IEEE 802.15.4 (IEEE, 2011), bastante utilizado em redes de sensores sem fio.

Estudos de protocolos de comunicação sem fio multicanal não são recentes

(MARSAN e ROFFINELLA, 1983), porém as limitações impostas em *hardware* de uma *WSN*, como o uso de microcontroladores de baixa capacidade de processamento e módulos de rádio de baixa taxa de transmissão, quando comparados com outras tecnologias de comunicação sem fio¹, são um entrave a algumas soluções (ZHOU et al., 2006). Por exemplo, os protocolos em (WUT et al., 2000) e (NASIPURI e DAS, 2000) exigem que o dispositivo seja capaz de se comunicar em várias frequências ao mesmo tempo, enquanto (BAHL, CHANDRA e DUNAGAN, 2004) e (TZAMALOUKAS e GARCIA-LUNA-ACEVES, 2001) utilizam mensagens de controle baseadas em IEEE 802.11 (IEEE, 2003) que, embora em outros tipos de rede sejam eficientes, não são compatíveis com as *WSNs* devido à sobrecarga² causada.

O objetivo deste trabalho é traçar um panorama dos estudos sobre protocolos que se propõem a controlar acesso em múltiplos canais para redes de sensores sem fio.

2. MOTIVAÇÃO

Nós de rede em *WSNs* são equipados com módulos de rádio simples, que geralmente não são capazes de atingir grandes taxas de transmissão e utilizam tecnologia de comunicação *half-duplex*, ou seja, embora capazes de com um único rádio enviar e receber informações, os fluxos não podem ocorrer em simultâneo. Além disso, a capacidade da rede é limitada pela quantidade de dados que pode ser recebida por um nó de destino, limitação conhecida como “*gargalo de destino*” (KYASANUR e VAIDYA, 2005).

Existem algumas técnicas de controle de interferência em redes sem fio, como o *controle da potência de transmissão*

(ELBATT e EPHREMIDES, 2004), o uso de *antenas direcionais* (ADERE e MURTHY, 2010), e o uso de rádios definidos por *software*, ou rádios “*cognitivos*” (JONDRAL, 2005). Tais soluções são muito dependentes do *hardware* utilizado, e, muitas vezes, as limitações impostas por módulos de rádio mais simples e microcontroladores de baixa capacidade de processamento, além da praticidade de uso e instalação, acabam se tornando um entrave para sua aplicação.

Em vista disso, desenvolver protocolos de comunicação em múltiplos canais, baseados em *software* e menos dependentes do *hardware* utilizado, é essencial para desenvolvimento de *WSNs* robustas e pouco suscetíveis a interferências internas ou externas. Porém, mesmo soluções de *software* existentes, modeladas para redes sem fio de propósito geral, podem não ser compatíveis com as limitações de recursos, como uso de dispositivos mais simples, de baixo custo, e necessidade de economia de energia, impostas por redes de sensores, tornando de suma importância o desenvolvimento de estudos na área.

3. PROBLEMAS EM SELEÇÃO DE CANAIS

A principal vantagem (INCEL, 2011) da comunicação multicanal é que os nós da rede podem ser capazes de alterar, dinamicamente, o canal utilizado sempre que alguma interferência for detectada, embora alguns protocolos (CACCAMO e ZHANG, 2002; WU et al., 2008) prevejam que a seleção de canais ocorra apenas uma vez na inicialização da rede. O problema é que a troca do canal não é instantânea, logo, exigir muitas trocas de canal para a transmissão de um único pacote de dados causa uma grande sobrecarga no sistema (WU et al., 2008).

Além disso, todos os nós devem atuar de forma coordenada para que os nós envolvidos em determinado enlace estejam no mesmo canal em um mesmo intervalo de

1 54 Mbps do IEEE 802.11g (IEEE, 2003) contra 250 Kbps do IEEE 802.15.4 (IEEE, 2011).

2 Define-se como *sobrecarga* todo pacote trafegado ou tempo gasto na comunicação para enviar informações, que não sejam especificamente dados.

tempo. Uma pequena falha de coordenação pode causar uma série de problemas, conforme descrito a seguir.

O problema de terminal escondido (*hidden terminal*) (SO e VAIDYA, 2004) ocorre em protocolos que utilizam mensagens de controle (*RTS – Request to Send* e *CTS – Clear to Send*) para coordenar a comunicação e seleção de canais. Por já estarem se comunicando em canais diferentes, os nós não conseguem receber os pacotes de controle e podem tentar transmitir outros pacotes de controle através de um canal ocupado (identificado pelos pacotes por eles perdidos), causando colisão de informações.

Outro problema, conhecido como problema de surdez (*deafness problem*) (MAHESHWARI, GUPTA e DAS, 2006)), também para protocolos baseados em *RTS/CTS*, ocorre quando um pacote de controle é enviado para um destino que está configurado em outro canal. Após várias tentativas de comunicação sem resposta, o nó de origem pode concluir que o receptor não pode ser atingido.

Por fim, a emissão de mensagens de *broadcast*, mensagem com destino a todos os nós da rede, e a inclusão de novos nós na rede podem ser problemáticas (INCEL, 2011). Uma mensagem de *broadcast* é enviada de um único nó para vários, porém a mudança dinâmica de canal pode resultar no não recebimento da mensagem por alguns nós. Já ao incluir um novo nó pode ser necessário que toda a seleção de canais da rede seja reconfigurada para abrigá-lo e, logo, muitos recursos de processamento e comunicação da rede serão utilizados para um fim que não a aquisição e transmissão de dados.

4. PROTOCOLOS DE ATRIBUIÇÃO DE CANAIS

Os métodos de atribuição podem ser separados em três categorias (SOUA e MINET, 2011):

- Estático ou fixo: a atribuição é feita apenas uma vez, na inicialização da rede (CACCAMO e ZHANG, 2002; WU et al., 2008). É o padrão do IEEE 802.15.4 (IEEE, 2011).

- Semi-dinâmico: a atribuição é feita periodicamente ou baseada em algum evento, mas não muito frequentemente (LI et al., 2010; YU et al., 2010; ZHOU et al., 2006).

- Dinâmico: a atribuição é feita frequentemente, tipicamente a cada transmissão (BORMS, STEENHAUT e LEMMENS, 2010; KIM, SHIN e CHA, 2008).

Para que haja comunicação entre dois nós, ambos devem estar configurados no mesmo canal durante a transmissão, ou seja, coordenados (SOUA e MINET, 2011). A coordenação dos nós pode ser feita de maneira implícita ou explícita.

Na seleção implícita, os nós encontram um canal alvo e o momento de trocar para ele sem que haja troca de mensagens.

Pode ser implementado por meio de “ilhas” de comunicação, ou seja, os nós são divididos em grupos e cada grupo utiliza um canal específico. Um nó de cada grupo é o roteador, responsável pela comunicação entre cada “ilha” da rede. Embora simples, não soluciona o problema de colisão dentro de um mesmo grupo, e nem estabelece um padrão de seleção de canais para os nós roteadores. É adotado por (CACCAMO e ZHANG, 2002) e (WU et al., 2008) que, especificamente, possui a restrição de assumir nós roteadores capazes de se comunicar em dois canais simultaneamente.

Existe também uma técnica de alternância entre frequências, utilizada por (KIM, SHIN e CHA, 2008) e (BORMS, STEENHAUT e LEMMENS, 2010), que consiste em uma sequência independente de alterações de canal que serão seguidas pelo nó. A sequência de alterações utilizada por cada nó pode ser calculada pelos nós que desejam se comunicar com ele. Este método, porém, geralmente exige uma maneira de

sincronia temporal entre os nós, difícil de ser atingida em sistemas distribuídos, além de sofrer perdas temporais devido às frequentes alterações de canal (INCEL, 2011).

Já na seleção explícita, os nós negociam qual canal utilizar e o momento de utilizá-lo por meio de mensagens de controle.

Uma maneira é utilizar um canal dedicado apenas para transmissão de mensagens de controle, como em (LI et al., 2010). Apesar de fácil de implementar e não exigir sincronização temporal, essa abordagem, por utilizar um canal isolado de controle, sofre com os problemas de terminal escondido e surdez, mencionados anteriormente.

Em contraste com a técnica anterior, pode ser definida uma janela de tempo específica para acesso ao canal de controle, como em (ZHOU et al., 2006), (SO e VAIDYA, 2004) e (KIM, SHIN e CHA, 2008). Embora solucione os problemas de terminal escondido e surdez, necessita de sincronização entre os nós.

Existem também soluções mais avançadas, baseadas em inteligência artificial, como a utilização de teoria de jogos, em que cada “jogador” modela um nó e suas condições de interferência objetivando alcançar, por exemplo, a mínima interferência no canal utilizado. Tal técnica, utilizada no RMCA (YU et al., 2010), é altamente distribuível e requer pouca troca de informação entre os nós, porém sua convergência ainda não é trivial.

5. CONCLUSÃO

Apesar dos estudos sobre redes multicanais para *WSNs*, os protocolos propostos ainda deixam muitos problemas em aberto e desafios não vencidos, como eficiência energética, redução da sobrecarga causada por mensagens de controle ou seleção de canais e suporte a um grande fluxo de dados. Embora promissor, o uso de inteligência artificial ainda não foi muito bem estudado e suas limitações e

consequências não muito bem definidas, tornando este um tema interessante para estudos futuros.

6. REFERÊNCIAS

ADERE, K. e MURTHY, G. Solving the hidden and exposed terminal problems using directional-antenna based MAC protocol for wireless sensor networks. In: WOCN: WIRELESS AND OPTICAL COMMUNICATIONS NETWORKS. *Anais...* Colombo: IEEE, 2010.

BAHL, P.; CHANDRA, R. e DUNAGAN, J. SSCH: slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 ad-hoc wireless networks. In: ACM MOBICOM. *Anais...* Philadelphia: ACM Press, 2004.

BORMS, J.; STEENHAUT, K. e LEMMENS, B. Low-overhead Dynamic Multi-channel MAC for Wireless Sensor Networks. In: EWSN. *Anais...* Coimbra: IEEE, 2010.

CACCAMO, M. e ZHANG, L. An implicit prioritized access protocol for wireless sensor networks. In: RTSS. *Anais...* Austin, TX, USA: IEEE, 2002.

ELBATT, T. e EPHREMIDES, A. Joint Scheduling and Power Control for. In: INFOCOM. *Anais...* Miami: IEEE, 2004.

IEEE. *Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*. New York: IEEE, 2003. v. 2012

IEEE. *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks — Part 15 . 4 : Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*. New York: IEEE, 2011.

INCEL, O. D. A Survey on multi-channel communication in wireless sensor networks. *Computer Networks*, v. 55, n. 15, p. 3081–3099, 2011.

JONDRAL, F. K. Software-Defined Radio: Basics and Evolution to Cognitive Radio. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, v. 2005, n. 3, doi:10.1155/WCN.2005.275, 2005.

KIM, Y.; SHIN, H. e CHA, H. Y-MAC: An Energy-Efficient Multi-channel MAC Protocol for Dense Wireless Sensor Networks. In: 2008 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION PROCESSING IN SENSOR NETWORKS (IPSN 2008). *Anais...* St. Louis , Missouri , USA: ACM Press, 2008.

KYASANUR, P. e VAIDYA, N. H. Capacity of multi-channel wireless networks: impact of number of channels and interfaces. In: MOBICOM '05. *Anais...* New York: ACM Press, 2005.

LI, J. et al. ARM: An asynchronous receiver-initiated multichannel MAC protocol with duty cycling for WSNs. In: PERFORMANCE COMPUTING AND COMMUNICATIONS CONFERENCE. *Anais...* Albuquerque: IEEE, 2010.

MAHESHWARI, R.; GUPTA, H. e DAS, S. Multichannel MAC Protocols for Wireless Networks. In: 2006 3RD ANNUAL IEEE COMMUNICATIONS SOCIETY ON SENSOR AND AD HOC COMMUNICATIONS AND NETWORKS. *Anais...* Reston, VA, USA: IEEE, 2006.

MAINWARING, A. et al. Wireless sensor networks for habitat monitoring. In: PROCEEDINGS OF THE 1ST ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON WIRELESS SENSOR NETWORKS AND APPLICATIONS - WSNA '02. *Anais...* New York, New York, USA: ACM Press, 2002.

MARSAN, M. A. e ROFFINELLA, D. Multichannel Local Area Network. *Selected Areas in Communications, IEEE Journals on*, v. 1, n. 5, p. 885–897, 1983.

NASIPURI, A. e DAS, S. Multichannel CSMA with signal power-based channel selection for multihop wireless networks. In: VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE. *Anais...* Boston: IEEE, 2000.

SIMEK, M. et al. Measurement of LowPAN Network Coexistence with Home Microwave Appliances in Laboratory and

Home Environments. In: 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON BROADBAND AND WIRELESS COMPUTING, COMMUNICATION AND APPLICATIONS. *Anais...* Barcelona: IEEE, 2011.

SO, J. e VAIDYA, N. Multi-channel mac for ad hoc networks: handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver. In: MOBIHOC. *Anais...* Tokyo: ACM Press, 2004.

SOUA, R. e MINET, P. A Survey on Multichannel Assignment Protocols in Wireless Sensor Networks. In: WIRELESS DAYS (WD) 2011 IFIP. *Anais...* Niagara Falls: IEEE, 2011.

TZAMALOUKAS, a. e GARCIA-LUNA-ACEVES, J. J. A receiver-initiated collision-avoidance protocol for multi-channel networks. In: INFOCOM. *Anais...* Anchorage, Alaska: IEEE, 2001.

WU, Y. et al. Realistic and Efficient Multi-Channel Communications in Wireless Sensor Networks. In: 2008 IEEE INFOCOM - THE 27TH CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS. *Anais...* Phoenix: IEEE, 2008.

WUT, S. et al. A New Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks * Concerns with Using Multiple. In: I-SPAN. *Anais...* Dallas: IEEE Computer Society, 2000.

YU, Q. et al. Regret Matching Based Channel Assignment for Wireless Sensor Networks. In: 2010 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS. *Anais...* San Diego, CA, USA: IEEE, 2010.

ZHOU, G. et al. MMSN: Multi-Frequency Media Access Control for Wireless Sensor Networks. In: INFOCOM. *Anais...* Barcelona: IEEE, 2006.

ZHOU, G.; STANKOVIC, J. e SON, S. Crowded spectrum in wireless sensor networks. In: IEEE EMNETS. *Anais...* (?): IEEE, 2006.