

INVESTIGANDO A EXTENSÃO DO EBORACUM PARA INCLUSÃO DO MODO SLEEP NOS NODOS SENSORES

MARINA SOUZA CRUZEIRO¹; LISANE BRISOLARA DE BRISOLARA²

¹Universidade Federal de Pelotas – mscruzeiro@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – lisane@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Redes de sensores sem fio (RSSF) são conjuntos de nodos que têm como objetivo a monitoração de fenômenos em uma área de interesse e são conectados via rádio à uma estação base que centraliza as informações recebidas. Para seu funcionamento, cada nodo possui uma bateria própria não recarregável, tornando seu consumo energético uma limitação a ser considerada no desenvolvimento de soluções para que as redes possuam um tempo de vida aceitável para sua aplicação.

Na arquitetura de um nodo, o módulo de transmissão é considerado um dos maiores consumidores de energia, já que este pode ficar em modo ativo, transmitindo ou recebendo pacotes de informações, ou em modo *idle*, à espera de contato vindo de nodos vizinhos. Porém este componente suporta um terceiro modo de operação, o modo *sleep*, que faz com que o transmissor fique em estado de baixíssimo consumo energético. Mas para que seja possível que um nodo remetente inicie comunicação com um nodo destinatário, ação referida como *rendezvous*, o destinatário deve estar acordado. Há três formas de *rendezvous*: totalmente e parcialmente síncronos, que necessitam que os nodos remetente e destinatário estejam acordados ao mesmo tempo para trocarem informações; e totalmente assíncrono, onde o nodo remetente pode acordar o nodo destinatário através de um transmissor secundário (DEMIRKOL et al., 2009).

Tradicionalmente são utilizados protocolos de *duty-cycle* no *Medium Access Control* (MAC) para o controle do modo *sleep*. Porém, com os recentes avanços de consumo de energia em circuitos CMOS, o *Wake-up Radio* (WuR) surgiu como uma alternativa para protocolos de *duty-cycle*, com foco no *rendezvous* totalmente assíncrono (PIYARE et al., 2017). *Wake-up Radio* consiste em um segundo módulo transmissor *ultra-low power* que, geralmente, necessita apenas micro watts para seu funcionamento, permitindo que este permaneça sempre ligado enquanto os outros módulos entram em modo *sleep*. Ao receber um sinal vindo de um nodo vizinho, o WuR ativa seu próprio nodo para o recebimento da informação que está por vir.

Para a simulação de RSSFs, o Eboracum (MARQUES et al., 2016) é um *framework* para modelagem da plataforma de *hardware* de uma rede e sua carga de aplicação, permitindo a avaliação de eficiência de diferentes soluções para uma aplicação. O Eboracum suporta a caracterização do consumo energético do dispositivo a ser utilizado, considerando três diferentes modos de operação: em processamento, *idle* e transmitindo.

Porém, o Eboracum não possui suporte para o modo *sleep*, impedindo-o de ter uma caracterização de redes de forma mais precisa levando em consideração equipamentos que incluam WuR. Assim, este trabalho discute a extensão do Eboracum para inclusão do modo de consumo *sleep* baseado em *Wake-up Radio*.

2. METODOLOGIA

Para a implementação de uma nova característica no Eboracum, em um primeiro momento estudou-se a arquitetura do *framework*. O Eboracum é dividido em duas camadas: de aplicação e de plataforma. A camada de aplicação é composta pelas primitivas que permitem a modelagem dos eventos que ocorrerão na simulação da RSSF. A camada de plataforma é composta pelas primitivas que modelam o hardware e a comunicação dos nodos que formam a RSSF, e é nesta camada que este estudo concentrou-se.

A classe abstrata *WirelessSensorNode* modela parâmetros do nodo como raio de comunicação, bateria inicial, descarga de bateria em modo *idle*, entre outras características. A partir desta classe, duas extensões são providas para a modelagem de diferentes nodos, porém a classe abstrata *BasicWirelessSensorNode* faz parte do foco deste estudo, pois esta modela parâmetros do sensor, sua descarga de bateria relacionada e processamento de eventos. A classe *SimpleWSNNode* é uma extensão da classe *BasicWirelessSensorNode*, que a implementa e adiciona o tipo de CPU utilizada.

Além disso, este trabalho incluiu uma revisão sobre os conceitos e técnicas empregadas para suportar o modo de sleep em módulos de RF (PIYARE et al. 2017). Esta revisão incluiu a comparação do uso do WuR com protocolos simples de duty-cycle para RSSF (JELICIC et al., 2012) e a discussão de benefícios e desafios no uso de WuRs (DEMIRKOL et al. 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a criação de um nodo que tenha suporte ao modo *sleep* e possua um *Wake-up Radio*, a classe *WakeUpWSNNode* foi criada a partir de *SimpleWSNNode*. A partir do princípio de polimorfismo, métodos relacionados à comunicação entre nodos e descarga de bateria foram reescritos para caracterizar este novo tipo de nodo.

Além da modificação de métodos já existentes, um novo canal de comunicação foi criado para o uso exclusivo do WuR, utilizado apenas para que os nodos enviem sinais para acordar seus vizinhos. Este canal possui um raio e custo de comunicação próprios. Também criou-se um protocolo de *handshake* para que os nodos verifiquem o destinatário das mensagens de *wake-up*, para evitar que acordem nodos desnecessariamente.

Usando a nova primitiva criada para modelagem de nodos, quando um nodo sente um evento, ele o processa e envia um sinal de *wake-up* para seu nodo destinatário, entrando em modo de espera. Cada um dos nodos vizinhos recebe esta mensagem e verifica, através do protocolo de *handshake*, se ele é o destinatário. O destinatário gera uma interrupção para acordar seu transmissor principal e manda uma mensagem de *acknowledge* (ACK) para o nodo remetente que, após receber o ACK, envia o pacote de informações referentes ao evento ocorrido para o destinatário através do canal de comunicação principal. Logo após, o nodo remetente volta a dormir enquanto o destinatário torna-se agora remetente e repete o processo até que a mensagem do evento chegue ao *sink*. A Figura 1 ilustra este comportamento.

O desenvolvimento desta nova primitiva está em fase de validação do código, para que sejam feitos experimentos em um próximo momento. A

difficuldade maior está na implementação da descarga da bateria que, no modo de simulação *discrete-event*, não ocorre baseado em ciclos, o que dificulta a atualização da bateria nos modos *idle* e *sleep*.

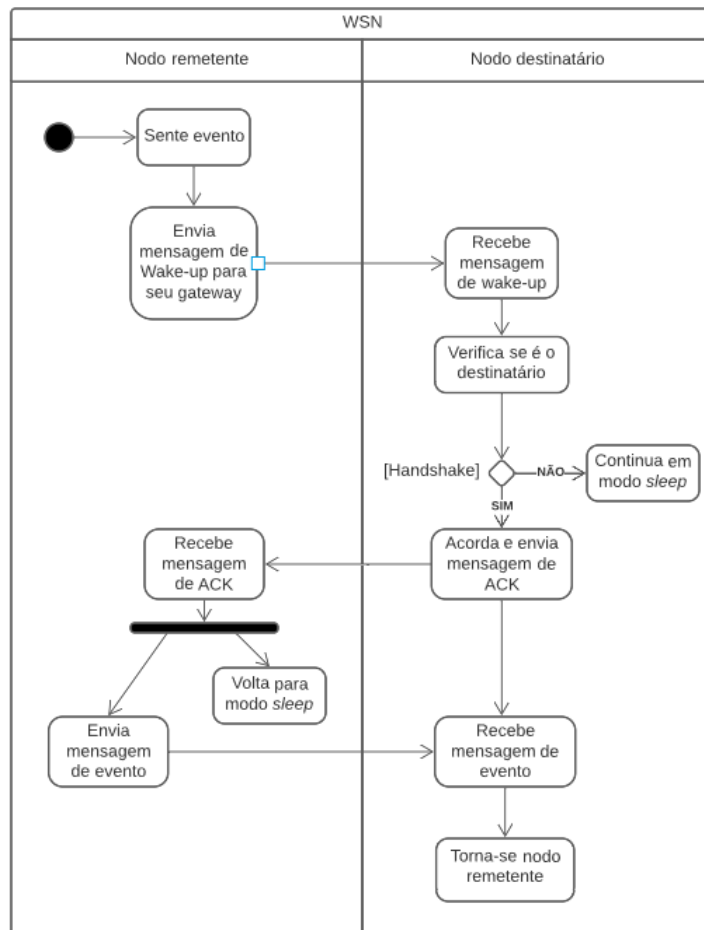


Figura 1: Esquema proposto para suporte do WuR nos nodos sensores

4. CONCLUSÕES

Devido ao emprego de baterias não recarregáveis, um dos principais desafios em projetos de RSSF é o consumo energético que limita o tempo de vida da rede. Uma das fontes de consumo são as transmissões realizadas pelos rádios incorporados aos nodos sensores. Recentemente, estes rádios estão evoluindo para reduzir o consumo energético. Uma destas técnicas é manter o rádio em um modo de consumo baixíssimo pelo maior tempo possível e acordá-lo quando necessário através de um *wake-up radio*. Este trabalho investiga a extensão do simulador Eboracum para suporte a nodos sensores que incluem o modo de sleep baseado em WuR. Este trabalho está em andamento, já possuindo uma versão preliminar implementada, que está em etapa de validação.

Como trabalhos futuros, pretende-se completar a validação, para então realizar experimentos para avaliar o impacto deste recurso no tempo de vida da rede em cenários de aplicações reais. Ainda, planeja-se investigar o impacto desta extensão na melhoria de desempenho obtida por técnicas de

balanceamento de carga estudadas em trabalhos anteriores do grupo de pesquisa (FERREIRA et al., 2015) (PEREIRA et. al., 2020).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEMIRKOL, I.; ERSOY, C.; ONUR, E. Wake-up receivers for wireless sensor networks: Benefits and challenges. **IEEE Wireless Communications**, v. 16, n. 4, p. 88 - 96, 2009.

FERREIRA, P. R.; BRISOLARA, L.; INDRUSIAK, L. S. Decentralised Load Balancing in Event-Triggered WSNs Based on Ant Colony Work Division. **Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications**, 41, Funchal, 2015, **Anais...** [S.l.] IEEE, 2015. pp. 69-75.

JELICIC, V.; MAGNO, M.; & BRUNELLI, D.; BILAS, V.; BENINI, L. Analytic comparison of wake-up receivers for WSNs and benefits over the wake-on radio scheme. In: **ACM Workshop on Performance Monitoring and Measurement of Heterogeneous Wireless and Wired Networks**, 7., Cyprus, 2012. **Anais...** [S.l.]: ACM, 2012. p. 99-106.

MARQUES, M.R.S; BRISOLARA, L.; FERREIRA, P.R.; INDRUSIAK, L.S. Eboracum: An extensible framework for high-level modeling and evaluation of reactive and adaptable wsns. In: **IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION (ETFA)**, 21., Berlin, 2016. **Anais...** [S.l.]: IEEE, 2016. p.1.

PEREIRA, I. A.; BRISOLARA, L.; FERREIRA, P. R. Jr. Application-Level Load Balancing for Reactive Wireless Sensor Networks: An Approach Based on Constraint Optimization Problems. In **Intelligent Systems**: In: **Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)**, 9., Rio Grande, 2020, **Anais...** Berlin, Springer-Verlag, 2020, pp. 63–76.

PIYARE, R.; MURPHY, A. L.; KIRALY, C.; TOSATO, P.; BRUNELLI, D. Ultra Low Power Wake-Up Radios: A Hardware and Networking Survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 19, n. 4, p. 2117-2157, 2017