



Métodos para redução de consumo de energia em redes 802.11

Evandro Santos Soares¹, Pedro Klecius Farias Cardoso²

¹Mestrando em Computação Aplicada pela Universidade Estadual do Ceará – UECE e-mail: evandro.soares.santos@gmail.com

²Professor Orientador do Mestrado em Computação Aplicada da Universidade Estadual do Ceará – UECE e professor do Departamento de Telemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE e-mail: klecius@ifce.edu.br

Resumo: Os dispositivos de Redes Ad-Hoc utilizam normalmente baterias portáteis como fonte de energia, sendo um desafio desenvolver sistemas que tenham um consumo cada vez menor, vida útil prolongada e com baixo custo de produção. Várias alternativas para reduzir o consumo de energia nestes dispositivos e prolongar a sua vida útil operacional por hardware foram propostas. Entretanto, estudos indicam que já se alcançou o limite físico de dissipação de energia, tornando dispendiosa a tentativa de implementação de outras otimizações por hardware. Este artigo analisa algumas técnicas empregadas em redes Ad-Hoc para redução no consumo de energia por software. Essas técnicas implementam novos algoritmos para a camada MAC 802.11 que modificam o estado de ociosidade da interface *wireless* e controlam seu consumo de energia durante esse estado.

Palavras-chave: economia de energia, redes sem fio, protocolos

1. INTRODUÇÃO

Uma rede Ad-Hoc é aquela em que seus hospedeiros não possuem uma infraestrutura de serviços tradicionais de rede, como informações de roteamento, atribuição de endereços IP, entre outros serviços, sem qualquer controle centralizado, sendo os próprios hospedeiros os provedores desta infraestrutura de serviços. As redes Ad-Hoc móveis são denominadas de MANET (Mobile Ad-hoc Network).

Os dispositivos hospedeiros de uma MANET utilizam normalmente baterias portáteis para prover energia para seu funcionamento, sendo um desafio aos desenvolvedores de arquiteturas disponibilizarem sistemas que tenham um consumo de energia cada vez menor, vida útil prolongada e com custos de produção aceitáveis. Uma alternativa para de reduzir o consumo de energia nestes dispositivos e prolongar a sua vida útil operacional é realizar modificações em alguns processos dos protocolos da camada MAC através de software, uma vez que modificações por hardware, segundo apontam alguns estudos [Stojcev,2004.], já tenha alcançado o limite físico de dissipação de energia, tornando dispendiosa a tentativa de implementação de otimizações por hardware.

A camada MAC das redes MANET que utilizam tecnologia IEEE 802.11, consomem energia no processo de transmissão e recepção de pacotes. Além desse custo energético, existem outros processos não-essenciais nesta arquitetura que também consomem energia. O primeiro é o processo de inatividade, correspondente ao consumo de energia em que a interface de rede está ociosa, isto é, sem transmitir nem receber pacotes. Nas redes 802.11, mesmo quando a interface de rede está ociosa, a mesma deve estar ativa, aguardando para receber tráfego de dados (LISTEN). O consumo de energia de uma interface ociosa é bastante considerável, variando entre 1W e 2W [Biswas e Datta, 2004] dependendo da configuração do dispositivo e de seu fabricante.

O segundo processo não-essencial é o *overhearing*, que ocorre no período em que a interface de rede não recebe pacotes que seriam destinados a ele. O *Overhearing* é causado devido a transação de um pacote *unicast* ser enviada para um hospedeiro fora do alcance da rede, não possuindo nenhum mecanismo que confirme a não recepção da mesma. O consumo de energia de um *overhearing* é equivalente ao consumo da recepção de pacotes.

O terceiro processo não-essencial é a colisão de pacotes. A colisão ocorre quando dois ou mais hospedeiros utilizam o mesmo meio para realizar transmissão de dados ao mesmo tempo, o



que impossibilita a entrega dos pacotes a seus destinatários, fazendo com que os pacotes sejam retransmitidos. Isso tem como consequência o aumento de consumo de energia.

Pode-se, então, modificar alguns processos da camada MAC, com relação a ociosidade da interface para prover uma alternativa de melhoria no consumo de energia. Para reduzir o número de colisões, o protocolo MAC 802.11 trabalha com um nível de sensibilidade de transporte maior e dependente da sensibilidade da portadora, em comparação ao nível de sensibilidade da faixa de recepção. A ECS (*Erroneous Carrier Sensing*) é o componente de sensibilidade que detecta a existência de erros, e para diminuir as colisões durante a transmissão, o tempo de operação da ECS é incrementado, mas em contrapartida é necessário maior consumo de energia. É possível implantar sintaxes através de protocolos da camada MAC para trabalhar em conjunto com a ECS e conseguir um mecanismo de funcionamento com baixo consumo de energia e com baixas perdas de desempenho na taxa de transferência de dados.

Já no processo de ociosidade da interface de rede, é possível utilizar um algoritmo distribuído para realizar a sincronização do tempo de ociosidade entre os nós da rede para gerenciar a ativação das interfaces através de agendamento de tarefas. Uma vez sincronizados, os hospedeiros da rede podem desativar sua interface durante o período de ociosidade da agenda sincronizada, e reativa-las durante a seção de atividade. Durante o período agendado de ociosidade, o consumo de energia na interface se torna consideravelmente reduzido. Este algoritmo pode ser introduzido sem a necessidade alterar qualquer protocolo padrão da camada MAC.

Este artigo apresenta a metodologia destas técnicas e a integração entre ambas para conseguir um bom nível de redução de consumo de energia em interfaces de rede 802.11.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os pesquisadores Samir Datta do *Computer Science Department-Chennai Mathematical Institute (India)* e Subir Biswas do *Electrical and Computer Eng. Department - Michigan State University (EUA)* fizeram experimentos para verificar a diminuição do consumo de energia utilizando o software de simulação NS2. Eles desenvolveram uma rede MANET com arquitetura 802.11 utilizando na camada MAC o protocolo de roteamento AODV, com intuito de investigar o comportamento das interfaces de rede durante o período de ociosidade.

As experiências realizadas demonstraram que forçar uma interface de rede a entrar em modo de repouso durante o período de ociosidade do dispositivo (sem operações de transmissão e recepção) se torna o melhor caminho para reduzir o consumo de energia durante este processo não-essencial. Atualmente as interfaces de rede comercialmente disponíveis requerem pelo menos 10 segundos para completar a transição entre o estado de inatividade para qualquer outro estado. Porém, esta latência para reativar completamente a interface pode ser reduzida forçando a interface de rede a entrar no estado ociosidade de baixo nível durante a inatividade de transmissão e recepção. Este estado seria semelhante ao estado de repouso (SLEEP) da interface.

Durante o estado de ociosidade de baixo nível, é possível forçar a interface de rede a desligar temporariamente parte de seus dispositivos eletrônicos sem comprometer a sua funcionalidade quando o processo de transmissão e recepção for solicitado. O tempo de transição do estado de inatividade para o estado de ociosidade de baixo nível seria em torno de 20 μ s.

Quando a interface detectar o sinal ECS, esta será forçada a entrar no estado de ociosidade de baixo nível por um tempo baseado dinamicamente pelo tamanho do pacote da camada MAC. Este mecanismo reduz o tempo que o hospedeiro da rede gasta para captar a portadora ECS e incrementa a tempo de duração do estado de ociosidade de baixo nível. O resultado deste processo é uma redução significativa no consumo de energia pela interface de rede. Durante as simulações utilizando o software NS2, foram tomadas as medidas de consumo energético, e os resultados obtidos mostraram uma redução de consumo de energia de 594mw

quando a interface está no estado de escuta (LISTEN) para 66mW quando esta foi forçada a entrar em estado de ociosidade de baixo nível.

O desempenho baseado neste raciocínio pode ser melhorado quando utilizado em conjunto com o *e-Idling*, uma extensão do protocolo da camada MAC que limita a ação de *overhearing*, forçando a interface a mudar para um estado de inatividade. O trabalho em conjunto desta técnica com esta extensão de protocolo permite conseguir economia de energia em torno de 6,7% a 69% com aumento de perda na taxa de transmissão de pacotes entre 3,5% a 4,5%, o que não traz grandes prejuízos para a transmissão de dados [Biswas e Datta, 2005].

O mecanismo de trabalho proposto pelos pesquisadores tem como ideia central a detecção da portadora ECS por parte de um nó hospedeiro da rede, o reconhecimento do cabeçalho por sua interface wireless e a mudança de seu estado de escuta (LISTEN) para um estado de ociosidade de baixo nível durante o período em que a portadora ECS estiver disponível. Considere-se o cenário na figura 1, na qual o nó A está fora do alcance do nó D para receber dados, mas dentro da faixa de endereços da portadora. O nó C está dentro do alcance de rede do nó D e pode receber normalmente dados deste nó. No momento em que o nó D começa a enviar dados para o nó C, após a transação dos sinais de RTS e CTS, a transmissão originada em D aparece como sinal de ECS para o nó A, que não pode transmitir ou receber durante enquanto durar o sinal de ECS. Em determinados períodos, a interface realiza a operação de *wakeup*, quando a interface verifica se o sinal de ECS continua presente no meio. A lógica por trás do primeiro *wakeup* intermediário será a resposta quando o sinal ECS recebido corresponde a um sinal de RTS ou CTS da camada MAC. Quando ocorrer o *wakeup* intermediário do nó A e este verificar que o sinal de ECS ainda persiste no meio, então este nó voltará ao estado de ociosidade de baixo nível. O segundo *wakeup* do nó A irá verificar em que situação o sinal ECS foi recebido, se foi correspondente a um AODV RREQ, RREP ou mensagem RERR. Caso o sinal ECS ainda persista no meio, o nó A irá assumir os dados do sinal ECS para calcular o tempo máximo de duração do estado de ociosidade.

O desempenho do *e-Idling* é sensível à precisão da estimativa do tamanho dos pacotes de dados no meio. Este método assume três tamanhos para os pacotes: controle MAC, controle AODV e o controle de dados de tamanho fixo.

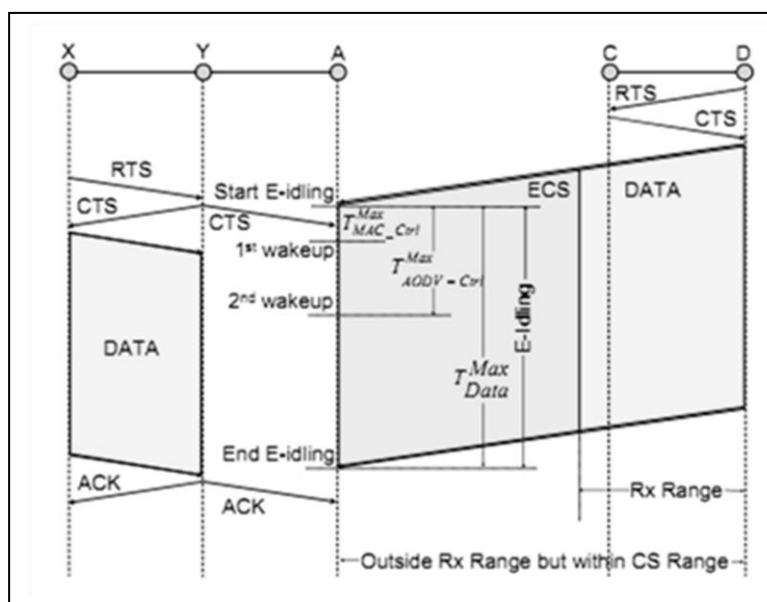


Figura 1: Mecanismo de funcionamento do *e-Idling*. Biswas e Datta. 2005.

O pesquisador Rohit Naik, da Microsoft Corporation, desenvolveu um trabalho baseado nas pesquisas realizadas por estes dois pesquisadores para propor um algoritmo distribuído com



capacidade de trabalhar com os protocolos da camada MAC durante o período de inatividade da interface [Naik et al, 2005].

Estudos sobre a economia de energia trabalhando com a camada física e MAC demonstram que é possível reduzir o consumo de energia através do controle da potência de transmissão. Contudo o controle de potência reduz apenas uma pequena fração da energia total consumida, resultando num valor quase insignificante quando comparado com o resultado da economia global que pode ser atingida.

Desta forma, é possível trabalhar com protocolos durante o período de *overhearing* forçando a interface a entrar em modo de descanso quando houver ausência de transações no nó da rede, fazendo uma sinalização para trocar informações sobre os horários de transmissão de pacotes. Esta metodologia é fornecida a rede durante o estado de transmissão um vetor de alocação de redes (NAV) evitando a necessidade de dois rádios *transceivers*.

Conforme o trabalho proposto por Samir Datta e Subir Bisway, desligar completamente a interface traz o problema da latência de transição entre estados. Esta latência pode ser significativamente reduzida forçando a interface a entrar em um estado de ociosidade de baixo nível, que não desligue totalmente a interface de rede.

O protocolo SMAC introduz um mecanismo de sincronismo de ociosidade, reduzindo a utilização do estado de escuta entre os nós da rede. Este protocolo trabalha com ociosidade sincronizada de longo prazo, em torno de 100ms, de modo que os nós podem desligar suas interfaces durante o período de ociosidade em baixo nível, podendo se comunicar durante os períodos de atividade. Os agentes de sincronização se comunicam em um formato *peer-to-peer* usando serviços subjacentes da camada MAC. O protocolo SMAC trabalha o sincronismo com a camada MAC de forma independente, sendo desnecessária qualquer modificação no padrão das sintaxes desta camada.

É possível agendar um único horário de trabalho, evitando que as interfaces fiquem em estado de escuta, quando existem vários horários de trabalho associados. É importante notar que o modo de ociosidade sincronizado de longo prazo (100ms) para reduzir o período de estado de ociosidade de baixo nível pode ser utilizado simultaneamente com o modo de ociosidade assíncrono de curto prazo (menos de 10 ms) para reduzir o *overhearing* em redes 802.11. Isto é possível devido ao fato de não ser realizada nenhuma modificação na camada MAC.

Naik propôs um protocolo para trabalhar conjuntamente com o *e-Idling* na camada MAC [Naik et al, 2005], utilizando um algoritmo distribuído para sincronização e manutenção do estado de ociosidade dos nós hospedeiros da rede. Uma vez sincronizados, os nós podem colocar suas interfaces no modo de ociosidade de baixo nível durante o horário de sincronismo de inatividade, podendo se comunicar normalmente após o término deste horário.

Isto é possível utilizando o conceito de ociosidade periódica (SLEEP) e ciclos de escuta (LISTEN) que serão sincronizados entre pares de nós da rede. Estes pares manterão sincronizados seus horários de ociosidade e escuta de modo que as interfaces wireless possam entrar em ociosidade e processar transações durante o período de escuta, utilizando uma menor quantidade de energia.

A redução de energia realizada por este protocolo depende do ciclo de trabalho dos horários de sincronização. O algoritmo distribuído proposto é implementado dentro de um *SyncAgent* dentro da camada MAC. O *SyncAgent* é executado em cada nó realizando todos os processos necessários para sincronização, como o calendário distribuído e as instruções para a interface wireless entrar em modo de ociosidade e de escuta. O *SyncAgent* usa os serviços padrões da Camada MAC e serviços de transmissão que não dependem de protocolos subjacentes dessa camada.

O mecanismo básico para a sincronização é usar um pacote SYNC que um nó transmite periodicamente com o seu próprio registro de cronograma de ociosidade. O cronograma de ociosidade é indicado pela próxima ocorrência de início de ociosidade, expresso como relação de tempo. Ao entrar em uma rede, um nó tenta descobrir qualquer horário de ociosidade existente a partir da recepção de pacotes SYNC. Se for recebido um pacote SYNC dentro de um



período de tempo pré-definido, o nó adota a programação recebida e começa a segui-lo. Caso contrário, o nó cria sua própria programação e a transmite utilizando pacotes SYNC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *e-Idling* para ociosidade de baixo nível é uma extensão de protocolo da camada MAC para limitar o consumo de energia em redes 802.11, forçando uma interface a desativar parte de seus recursos, sem desligá-la totalmente, quando não houver nenhum processo de transmissão ou de recepção de dados. Enquanto a interface estiver em escuta, e esta detectar uma transação de pacotes no meio, a interface mudará seu estado para um estado de ociosidade de baixo nível, até que a transação no meio termine. Este processo reduz o consumo de energia no período em que a interface não esteve em trabalho. Após o término da transação do meio, a interface volta ao estado de escuta e pode processar recebimento e envio de dados normalmente.

O problema da latência durante a transição de estados da interface foi reduzido para alguns microssegundos. Simulações realizadas utilizando o software NS2 demonstraram uma redução significativa no consumo de energia com esta metodologia, reduzindo o consumo de energia da interface de 69% quando esta está em estado de escuta para 6,7% quando esta assume o estado de ociosidade de baixo nível [Datta e Biswas, 2005].

É possível otimizar a carga de trabalho desta extensão de protocolo utilizando a metodologia proposta por Rohit Naik juntamente com Subir Biswas e Samir Datta para introduzir um agente através de programação distribuída na rede trabalhando com protocolos da camada MAC e seus subjacentes.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi exposto mecanismos de trabalho na camada MAC das redes MANET com propósito de reduzir o consumo de energia nas interfaces wireless. Utilizando uma extensão de protocolo da camada MAC e introdução de um algoritmo de programação distribuída, é possível realizar a sincronização entre dois nós vizinhos para que estes agendem entre si horários de ociosidade em baixo nível. Durante este estado, é possível conseguir uma redução considerável no consumo de energia sem causar grandes perdas de desempenho nas taxas de transmissão de dados do ambiente.

REFERÊNCIAS

J. Macker and S. Corson. **Mobile ad hoc networks (MANET)**. IETF Working Group Charter, 1997. Disponível em : <<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>>. Acesso em 01 ago 2012.

Naik, Rohit , et al. **Distributed Sleep-Scheduling Protocols for Energy Conservation in Wireless Networks**. 38th Hawaii International Conference on System Sciences, 2005.

NS-2 Manual, disponível em <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>> Acesso em 02 ago 2012.

Product description of PRISM GT WLAN solution. Disponível em <<http://www.globespanvirata.com/prismgt.html>> Acesso em 02 de ago 2012.

Product description of SOCKET Communications Inc., low power wireless LAN card. Disponível em <<http://www.socketcom.com/pdf/wlan/wlandatasheet.pdf>> Acesso em 02 de ago 2012.

S. Biswas and S. Datta, **Reducing Overhearing Energy in 802.11 Networks by Low-power Interface Idling**. IEEE International Conference Electro Information Technology, 2005.



S.Biswas and S. Datta. **Energy Savings by Intelligent Interface Idling in 802.11 Based Wireless Networks**. EWCN, Phoenix, Arizona, April 2004.

Stojcev, Mile et al. **The Limits of Semiconductor Technology and Oncoming Challenges in Computer Microarchitectures and Architectures**. 2004.

<<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0353-3670/2004/0353-36700403285S.pdf>>. Acesso em 02 de ago 2012.