



Estudo Analítico do Funcionamento das WLANs

João Neto S. Valadares¹, Claudio C. Monteiro²

¹Graduando do Curso de Tecnologia em Sistemas Para Internet – IFTO. Bolsista do CNPq. e-mail: joanetojocum@gmail.com

²Doutor em Engenharia Elétrica - IFTO. Membro ACM. e-mail: ccm@ifto.edu.br

Resumo: Em uma época em que as tecnologias caminham para alcançar conectividade entre diversos dispositivos portáteis, a modernização das telecomunicações e crescimento diário do número de aparelhos que suportam conexões sem fio, promove a conectividade destes dispositivos com Internet e com outros aparelhos. Neste trabalho, será estudado o funcionamento de um dos padrões de comunicação sem fio, conhecido como IEEE 802.11, ou popularmente, WLAN. O trabalho apresenta este padrão, com foco no mecanismo de coordenação DCF (*Distributed Coordination Function*), que opera na camada de enlace, promovendo controle de acesso ao meio. É detalhada a operação e arquitetura deste, e o conhecimento adquirido foi usado para a construção de um simulador, para redes deste tipo com até três nós, visando auxiliar no ensino e aprendizado destas redes, através de exemplos didáticos. O simulador deverá ser modular e de código aberto, visando a interação e continuidade do trabalho, por quem se interessar. O desenvolvimento do simulador será dividida em duas partes, a primeira é a formação de um modelo analítico, definindo fórmulas matemáticas para se obter os valores do tempo de transmissão e tempo de espera das estações e a segunda é a aplicação e avaliação do modelo, usando algumas combinações de ambientes envolvendo o acesso simultâneo de 3 estações.

Palavras-chave: Rede sem fio, IEEE 802.11, mecanismo DCF, enlace, controle de acesso.

1. INTRODUÇÃO

A popularização das tecnologias da informação nos dias atuais está fazendo com que cada vez mais pessoas estejam conectadas à Internet. Muitas atividades são feitas na Internet, através de computadores, celulares, PDAs e uma enorme gama de dispositivos, que cada vez mais se tornam indispensáveis ao cotidiano das pessoas. Um dos principais meios de interligação destes dispositivos com a Internet e outras redes é a rede sem fio, popularmente conhecida como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) ou redes locais sem fio WLAN (*Wireless Local Area Network*). Neste trabalho será usado o termo “rede sem fio”, para mencionar WLAN.

A principal vantagem na utilização de redes sem fio é a mobilidade, pois são de fácil instalação e baixo custo de implantação, podendo ser instaladas em residências, hotéis, escritórios, plataformas em alto-mar e etc. Pode-se instalar uma rede sem fio apenas configurando um roteador, através de interface web, disponibilizada pelos sistemas que controlam estes aparelhos. Uma tarefa extremamente fácil, até para usuários com pouco conhecimento em computação e redes de computadores. Isto faz com que poucas pessoas, se interessem em saber, como realmente funciona uma rede sem fio, além das configurações da interface do roteador, uma vez que ela esteja em funcionamento. Muitos cursos técnicos e superiores, na área de informática não abordam com detalhes, o funcionamento das redes sem fio.

Diante disto, algumas questões fizeram a diferença para este trabalho. Será que os dispositivos que utilizam estas redes estão funcionando corretamente? Como acontece o acesso ao meio sem fio para a transmissão dos dados? Como funciona o protocolo que controla estas redes? Por que estas redes não são apropriadas para transferência de dados em tempo real e transferência de arquivos compartilhados? Estas questões podem ser respondidas, analisando o funcionamento do protocolo IEEE 802.11, e mais precisamente, os mecanismos que coordenam a comunicação neste protocolo.

Este trabalho visa estudar o acesso ao meio físico do protocolo genérico das redes sem fio, detalhando a camada de enlace do protocolo e o funcionamento do mecanismo padrão de acesso ao

meio, DCF (*Distributed Coordination Function*). Propondo um modelo analítico, e construindo um simulador, para WLANs com até três nós.

As próximas seções estão organizadas em: Seção 2 – apresenta referencial teórico da pesquisa, onde a subseção 2.1 trata especificamente do protocolo 802.11, a subseção 2.2 controle de acesso ao meio, as subseções 2.2.1 trata da função de coordenação distribuída e 2.2.2 trata da função de coordenação pontual; Seção 3 – apresenta a proposta do desenvolvimento de um simulador, onde as subseções 3.1 e 3.2 descrevem o modelo analítico e o simulador, respectivamente; Na seção 4 é feita a metodologia de avaliação para que o simulador seja validado; A seção 5 faz a conclusão do trabalho.

2. REDES LOCAIS SEM FIO

Em uma WLAN, o conjunto básico de serviços BSS (*Basic Service Set*) é o bloco fundamental, formado por um grupo de estações que se comunicam, em uma célula, também chamado de BSA (*Basic Service Area*), que representa a área de cobertura desta rede. Várias estações podem se comunicar em um BSS sem a necessidade de um ponto de acesso AP (*Access Point*), caracterizando uma rede ad hoc, BSS independente (iBSS). Numa rede estruturada, o tráfego entre as estações é controlado por um ponto de acesso, que também é responsável por interligar vários BSS (quando necessário), caracterizando um sistema de distribuição DS (*Distribution System*), o que possibilita aumento na área de cobertura. O conjunto de APs em um sistema de distribuição forma um conjunto estendido de serviços (*ESS - Extended Service Set*), onde as estações pertencentes ao sistema se comunicam e se movimentem de um BSS para outro, como se estivessem numa única rede, conforme a figura 1 [Ross and Kurose, 2006].

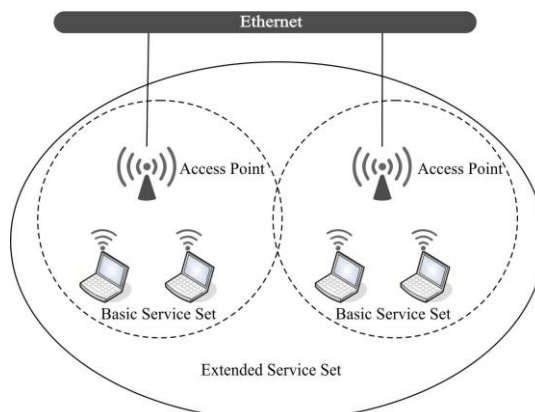


Figura 1 - Estrutura das WLANs, conjunto estendido de serviços.

2.1. O PADRÃO IEEE 802.11

O padrão 802.11 foi definido pelo IEEE (*Institute of Electric and Electronic Engineering*), para regular o funcionamento das redes sem fio transmitidas por radiofrequência ou infravermelho, as redes locais sem fio. A partir deste padrão, foram definidos outros subpadrões, alguns relacionados na tabela 1 [Souto, 2005].

Tabela 1 - Alguns subpadrões 802.11 e suas características

Padrão	Taxa de transferência (Mbps)	Alcance interno (m)	Frequência (GHz)	Acesso ao meio
802.11a	Até 54	50	5	CSMA/CA com OFDM; no modo opcional PCF
802.11b	Até 11	50	2.4	CSMA/CA com HR-DSSS; PDMA no modo

802.11g	Até 54	50	2.4	opcional PCF CSMA/CA com OFDM; PDMA no modo opcional PCF
---------	--------	----	-----	---

CSMA/CA = *Carrier sense multiple access with collision avoidance*; OFDM = *Orthogonal frequency division multiplexing*; PDMA = *Packet division multiple access*; HR-DSSS = *High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*; PCF = *Point Coordination Function*

Em comparação com o modelo RM-OSI da ISO (*Reference Model – Open Systems Interconnection of the International Standardization Organization*), a camada de enlace do padrão 802.11 foi subdividida em uma camada de controle de enlace lógico (*LLC Logical Link Control*) e controle de acesso ao meio DFWMAC (*Distributed Foundation Wireless Medium Access Control*), ou simplesmente MAC, como na figura 2 [Souto, 2005].

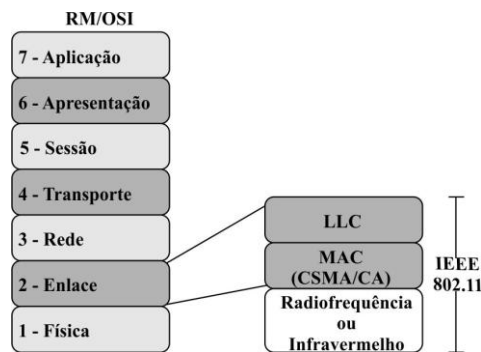


Figura 2 - Comparação entre o modelo OSI e 802.11.

2.2. CONTROLE DE ACESSO AO MEIO - MAC

O IEEE 802.11 define na subcamada MAC, dois mecanismos de coordenação, que determinam qual estação pode utilizar o meio físico em dado momento. O primeiro método é o DCF (Função de Coordenação Distribuída), que é o método básico e obrigatório, em todas as estações e pontos de acesso (APs), tanto *ad hoc*, como infraestrutura. O segundo é um método opcional denominado PCF (*Point Coordination Function*), função de coordenação pontual. Estes mecanismos, também conhecidos como funções de coordenação, decidem quando uma estação tem permissão para transmitir um quadro. No caso do DCF, esta decisão é tomada individualmente pelos nós da rede, possibilitando a ocorrência de colisões. No PCF esta decisão é centralizada em um ponto especial, o que teoricamente evita a ocorrência de colisões.

2.2.1. DCF - FUNÇÃO DE COORDENAÇÃO DISTRIBUÍDA

Este mecanismo, implementa o protocolo de acesso aleatório, usando detecção de portadora CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), semelhante ao CSMA/CD utilizado nas redes padrão 802.03 (*ethernet*), a diferença é que, ao invés de detectar a colisão o CSMA/CA, tenta evitar colisões, através de mensagem de resposta (ACK).

Na comunicação com função distribuída uma estação escuta o meio, se o encontrar livre, aguarda um tempo, DIFS (*Distributed Inter Frame Spacing*) [Conceição, 2006], após este tempo, transmite o quadro. Se o meio estiver ocupado, será escolhido um tempo de espera aleatório, (*backoff time*), que fará contagem regressiva assim que a estação perceber o meio livre, e pausará a contagem

se o meio estiver ocupado, quando o tempo *backoff* chegar a zero e o meio estiver livre, o quadro é transmitido [IEEE 802.11, 2007]. A fórmula que calcula o tempo de espera é mostrada a seguir.

$$BackoffTime = Random() \times aSlotTime \quad (1)$$

Onde *Random()* está em um conjunto de valores que formam a janela de contenção (*Contention Window – CW*), compreendido no intervalo $[0, Cw]$, o valor de *Cw* varia de $Cw_{min} = 7$ ms a $Cw_{max} = 255$ ms. A cada nova tentativa de retransmissão o valor associado ao *backoff* praticamente dobra, até atingir o limite máximo, quando o quadro é descartado [IEEE 802.11, 2007].

Após o recebimento do quadro, a estação de destino aguarda um tempo curto SIFS (*Short Inter Frame Space*) [Conceição, 2006], enviando então uma resposta (ACK) para confirmar o recebimento. Caso a estação que transmitiu não receba a resposta, o quadro será retransmitido.

Para contornar problemas de colisão, que são frequentes neste mecanismo, o protocolo permite a implementação opcional, dos quadros de controle curtos, RTS (*Request To Send*), solicitação de envio e CTS (*Clear To Send*), pronto para envio, que servem para reservar o canal. Considerando um cenário em que, duas estações desejam transmitir. Envia um quadro de solicitação ao AP, contendo o tempo total necessário para o envio do quadro e do retorno (ACK) [Ross and Kurose, 2006]. Quando o AP receber o RTS que chegar primeiro, retornará em *broadcast* um CTS, autorizando a transmissão da estação e informando as demais a não enviar durante o tempo reservado.

2.2.2. PCF - FUNÇÃO DE COORDENAÇÃO PONTUAL

O PCF é um mecanismo opcional, que pode ser inserido no protocolo MAC. Esse mecanismo faz com que o ponto de acesso AP, seja o controlador, determinando quem deve transmitir em um dado momento. O PCF divide o tempo em períodos (superquadros), com dois intervalos consecutivos. O primeiro superquadro é controlado pelo PCF, que coordena o acesso, prevenindo colisões; Após aguardar um tempo prioritário PIFS (*Priority Inter Frame Space*) [Conceição, 2006] o ponto de coordenação dá acesso à primeira estação, que poderá transmitir após aguardar SIFS. O coordenador aguarda SIFS novamente e então passa a vez para a segunda estação, e assim por diante. Se uma estação não responder ao SIFS, o coordenador aguarda um PIFS e passa a vez para outra [IEEE 802.11, 2007]. O segundo superquadro é controlado pelo DCF e funciona nos moldes deste mecanismo, conforme a figura 3. Isso é feito para que estações que não funcionam em modo PCF também possam acessar o meio [Bernard et al, 2004].

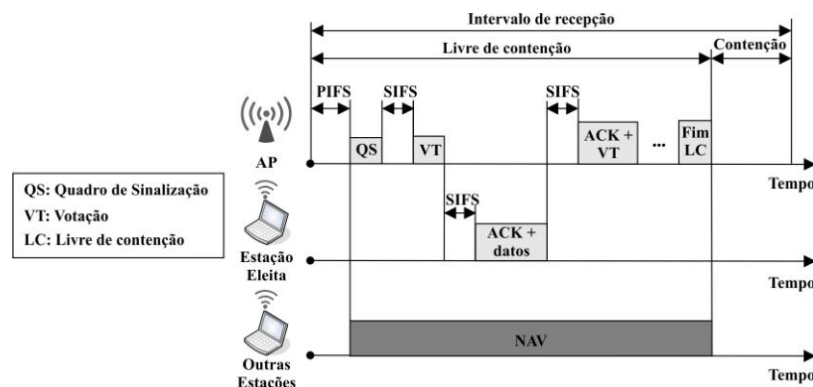


Figura 3 – Função de coordenação pontual.

Este mecanismo seria uma boa solução, para tráfegos em tempo real (voz e vídeo), onde é necessário sincronização e ordenação dos quadros. Porém, ele é pouco implementado, pelos fabricantes de hardware, por gerar produtos, mais caros que poderiam não atrair o consumidor final.



3. PROPOSTA E RESULTADOS

Como entendimento do funcionamento do mecanismo DCF, descrito anteriormente, a construção de um simulador, se faz necessária, para que seja exemplificado e testado o comportamento do acesso ao canal nas redes WLANs. A proposta deste simulador é que ele seja um incentivador no ensino de WLANs, trazendo didática e exemplificação ao aprendizado. De código aberto, para que os usuários possam interagir diretamente com o código e saber como funciona o mecanismo em estudo. Exemplificar a teoria contida no protocolo MAC. Que ele seja modular, para possibilitar continuidade, por qualquer pessoa, que se interesse, pelo trabalho. E focado no funcionamento do acesso ao meio físico, visto que este é o coração das redes sem fio, sendo a particularidade que traz o grande trunfo de se utilizar wireless, a mobilidade.

3.1. MODELO ANALÍTICO

Antes de iniciar o desenvolvimento do código, foi necessário definir um modelo matemático, para modelar o tempo de transmissão de uma rajada de quadros no DCF e outra para modelar o tempo de espera de uma estação para acessar o meio. Estes modelos foram feitos com base no estudo do mecanismo, gerando duas fórmulas que serão necessárias para alimentar a variável mais importante da simulação, o tempo, simbolizado aqui por (T).

A fórmula a seguir calcula o tempo necessário para que uma estação possa transmitir uma rajada de quadros. O cálculo é feito multiplicando a quantidade de quadros a transmitir (n), pelo tempo para transmitir cada quadro (T_{quadro}) mais duas vezes tempo de SIFS (T_{sifs}). Então para se transmitir 50 quadros, com um T_{quadro} igual a 10 ms e T_{sifs} igual a 16 ms, esta estação levará 2100 ms para transmitir esta rajada.

$$T = n(T_{quadro} + 2T_{sifs}) \quad (2)$$

A próxima fórmula modela o tempo do fluxo da iteração para tentativas de transmissão, quando uma estação encontrar o meio ocupado, ou seja, o tempo de espera de uma estação até encontrar o meio livre. O cálculo é feito pela soma de um tempo DIFS (T_{difs}), pela somatória do valor da janela de contenção (C_w) e o número de tentativas de transmissão (i) e o tempo do *backoff* ($T_{backoff}$).

$$T = T_{difs} + \sum_i^{C_w} T_{backoff} \quad (3)$$

Sendo assim, se uma estação for transmitir e encontrar o meio ocupado a variável i receberá o valor 1 (primeira tentativa), com T_{difs} igual a 34 ms, C_w igual a 7 e $T_{backoff}$ igual a 90 ms. A aplicação da fórmula ficará $T = 34 + 7 + 1 + 90$ e o tempo de espera desta estação será $T = 132$ ms, isto se depois de decorrido este tempo o meio já estiver livre, caso contrário as variáveis i e C_w são incrementadas e é gerado um novo $T_{backoff}$. Este fluxo permanecerá até que a estação encontre o meio livre.

3.2. O SIMULADOR

O primeiro passo da codificação foi criar funções para executar as tarefas padrões do DCF, e para os modelos matemáticos apresentados anteriormente, visando reutilização de código. O algoritmo 1 exemplifica a geração do tempo de *backoff*. Onde *gerarBackoff* retorna o valor da multiplicação do valor aleatório no intervalo entre o valor atual e o valor máximo da janela de contenção, pelo tamanho da fatia de tempo (*slotTime*).

Algoritmo 1 Função Para Gerar Tempo de *Backoff*

variavel

$CW \leq 7$

$CW_{max} \leq 255$

$slotTime = 9$

ISBN 978-85-62830-10-5

VII CONNEPI 2012

$CW_{atual} \leq CW$

retorna aleatorio entre(CW_{atual} e CW_{max}) \times *slotTime*

fim gerarBackoff



A abordagem implementada, foi a utilização de arquivo para simular o canal de transmissão, sendo uma instância de código pra simular três estações, onde cada execução do programa, fosse feita em uma janela de terminal, possibilitando ver a saída das execuções, em tempo real.

O primeiro problema em trabalhar com sistema de arquivo é que a abertura do arquivo através da função *open()*, por vários processos, não é bloqueante. Fazendo com que as três instâncias do programa (estações), consigam acessar o arquivo (canal) ao mesmo tempo, o que caracteriza colisão. Diante disso, foi definido um valor para ser gravado no arquivo. Na primeira execução o arquivo inicia com o valor 0 (zero) e a medida que a estação encontra este valor no arquivo, significa que o meio está livre, então a estação decrementa o tempo DIFS e então escreve o valor 1 (um), no arquivo, sinalizando sua transmissão e que o meio está ocupado.

Ao terminar a transmissão que é baseada, no tempo adquirido no resultado do cálculo da fórmula (2), cujos valores das variáveis de cálculo são parametrizados pelo usuário ao executar o programa. As demais estações ao ler o arquivo e verificar um valor diferente de 0 (zero), consideram o meio ocupado e continuam tentando até encontrar o meio livre. No momento da escrita deste artigo a iteração da transmissão com meio ocupado ainda não foi implementada, por isso a estação que encontrar o meio ocupado, volta a tentar transmitir logo em seguida. A listagem do algoritmo 2 apresenta basicamente a transmissão com meio livre.

Algoritmo 2 Transmissão Com Meio Livre

variavel

estacao <= 1

inicio

```
    abre(canal)
    // se o canal estiver livre 0
    conteudo <= leia(canal)
    se conteudo = 0
        fecha(canal)
        escreva "Decrementando DIFS..."
        decrementa(Tdifs)
        abre(canal)

        conteudo <= leia(canal)

        //verifica canal novamente apos DIFS

        se conteudo = 0

            canal <= estacao

            escreva "Estação trasmitindo..."

            decrementa(tempoTransmissao)

            canal <= "0"

            escreva "Estação terminou..."

            fecha(canal)

        senao

            fecha(canal)

            escreva "Ocupado apos DIFS"

    senao

        fecha(canal)

        escreva "Ocupado!"
```

fim



A fim de melhorar este fluxo, foram criadas funções para bloquear e desbloquear o arquivo, através do processo *chmod*, alterado as permissões do arquivo para 000, o que significa que ninguém poderá abri-lo, até que a mesma estação que o bloqueou (para transmitir), faça o desbloqueio, retornando às permissões anteriores. Mas como o tempo de transmissão é muito rápido (milissegundos), a escrita em disco se torna muito lenta, fazendo com que a própria estação, que bloqueou o arquivo, o desbloqueie e logo sem seguida, o bloqueia novamente. Assim as demais estações sempre encontram o meio ocupado e a primeira sempre detém o canal. Esta possibilidade foi descartada.

4. AVALIAÇÃO

A avaliação e validação do simulador serão feitas através de testes em laboratório, fazendo uso do simulador. Considerando estatisticamente um universo amostral infinito, será adotado um sistema de amostras finitas e definidas por: Transmissões com três estações, com o total de 20 simulações com tamanhos de quadro variando de 16 a 1024 bits, quantidade de quadros de 10 a 100 e taxa de transmissão de 1 a 54 bps. E ainda valores estáticos para DIFS (34 ms), SIFS (16 ms), *slotTime*(9 ms), CWmin (7 ms), CWmax (255 ms). O simulador poderá ser validado, quando os testes representarem 95% de confiança. Esta etapa fará parte de trabalhos futuros.

5. CONCLUSÃO

Ao se utilizar uma WLAN não se tem noção do que realmente acontece para que um quadro seja entregue ao seu destino, observando o trabalho até o momento, é possível criar uma visão destes acontecimentos. Algumas características foram herdadas do padrão *ethernet*, mas a natureza da comunicação sem fio é o fator que muda totalmente a forma de funcionamento na camada de enlace. Esta visão se tornará mais clara observando estes acontecimentos em tempo real através do simulador proposto.

REFERÊNCIAS

- BERNARD, H. W., STEFAN, M., E LARS, B. **IEEE 802 Wireless Systems: Protocols, Multi-hop Mesh/Relaying, Performance and Spectrum Coexistence**. John Wiley e Sons, 2004.
- CONCEIÇÃO, A. F. **Voz e Vídeo Sobre Redes Sem Fio IEEE 802.11**. Doutorado, Universidade de São Paulo, USP, 2006.
- FATHI, H., PRASAD, R., E CHAKRABORTY, S. S. **Voice Over Ip in Wireless Heterogeneous Networks - Signaling, Mobility and Security**. Springer Science; Business B.V, 1th edition, 2008.
- MONTEIRO, C. C. E GONDIM, P. R. L. **Improving video quality in 802.11 networks**. Proceedings of the 28th IEEE international conference on Computer Communications Workshops, INFOCOM'09, Piscataway, NJ, USA. IEEE Press, 2009.
- OF ELECTRICAL, I., ENGINEERS, E., AND BOARD, I.-S. S. **IEEE Standard For Information Technology -- Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications**. Number pt. 11 in IEEE Std. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007.
- ROSS, K. W. E KUROSE, J. F. **Redes de Computadores e a Internet**. Addison Wesley Bra, 3ª edição, 2006.
- SOUTO, L. M. **Especificação e implementação de componentes para modelar redes locais sem fio ad hoc padrão ieee 802.11**. Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 2005.