

MECANISMO DE GARANTIA DE QoS PARA REDES SEM FIO AD HOC

A. Roche, C. B. Westphall, P.A.C. K-S Graf von Mecklenburg

Laboratório de Redes e Gerência. Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação.
Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina.
Caixa Postal 476 88040-970, Florianópolis, SC, Brasil
+ (55 48) 331-9739 Fax: +(55 48) 331-9770
aroch@inf.ufsc.br

ABSTRACT

The wireless networks represent a new computing paradigm that has as main function to provide the users permanent access, independently of his physical location. With the decrease of the portable devices costs and the increase of its capacity appeared a new concept called ad hoc network, where the communication is made directly among the mobile computers. In this paper is doing the proposal, implementation and validation of a mechanism based on bandwidth management principle to QoS guarantee in ad hoc wireless networks. For that, a software is developed to simulate ad hoc environments, making the connections following the approach of the proposed mechanism. Several experiences were accomplished, proving the advantages of the method: it guarantees better use of the transmission channel, at the same time that it accepts larger amount of connections.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento nos últimos anos das telecomunicações e da informática, unido à necessidade do homem de estar cada vez mais informado, esteja onde estiver, tem provocado que se considerem as redes sem fio como a próxima geração nas redes de computadores. As redes sem fio/móveis, surgem como a quarta revolução na computação, antecedida pelos centros de processamento de dados da década de sessenta, o surgimento dos terminais nos anos setenta e as redes de computadores na década de oitenta. [8]

As redes LAN sem fio, conhecidas também como WLAN (*Wireless Local Area Network*), têm suporte de comunicação para interconexão de equipamentos numa área restrita, com o objetivo de viabilizar o compartilhamento dos recursos computacionais de hardware, software e informação. A organização consiste de equipamentos (computadores, impressoras, terminais e servidores) que são interligados através de conexões sem fio. [5]

Em maio de 1991, foi pedido à IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) a elaboração de padrões adotados em redes locais, formando-se o Grupo de Trabalho 802.11, cujo objetivo foi definir as especificações para conectividade sem fio entre estações de uma área local [1].

O padrão IEEE 802.11 define dois tipos de topologias para as redes LAN sem fio: infra-estruturada e *ad hoc* [10],

As redes infra-estruturadas caracterizam-se por possuir dois tipos de elementos: Estações Móveis (EM) e Pontos de Acesso (PA). Cada PA é o responsável pela conexão das estações móveis de uma área de cobertura (*BSA-Basic Set Area*) com a rede fixa. O PA desempenha tarefas importantes na coordenação das estações móveis, como aceitar ou não a inserção de uma nova estação à rede, colher estatísticas para o gerenciamento do canal e ajudar a definir quando uma estação deve ou não ser controlada por outro PA.

As redes *Ad hoc* não possuem qualquer infra-estrutura de apoio à comunicação. São diversos equipamentos móveis confinados em uma pequena área que estabelecem comunicação *peer-to-peer* por certo período de tempo [13].

A provisão de qualidade de serviço (QoS) de forma estrita assim como a robustez nos serviços, são requerimentos concorrentes na área das redes sem fio. Esta competição é amplamente ilustrada quando uma conexão de um usuário, num ambiente celular, é derrubada devido à sua movimentação para outra célula (*hand-off*) [4]. Quando acontece o *hand-off* podem ser perdidos pacotes ou inclusive a conexão pode ser derrubada, por isto manter os parâmetros de qualidade do serviço, resulta numa tarefa bem mais difícil sob estas circunstâncias.

As redes sem fio/móveis se caracterizam por ser altamente dinâmicas devido às variações no tempo e à mobilidade dos usuários. A chave para garantir a QoS neste tipo de rede poderia ser gerenciar a largura de banda eficientemente.

Neste artigo é proposto um mecanismo para garantir QoS aplicado a redes sem fio de topologia *ad hoc*, gerenciando a largura de banda. Com o objetivo de validar o mecanismo foi desenvolvido um software seguindo os critérios descritos. Finalmente é simulado um ambiente de redes sem fio *ad hoc*, sobre o qual se realizam vários experimentos, mostrando como resultado as vantagens de aplicar o mecanismo adaptável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Proposta do mecanismo para garantir QoS em redes sem fio ad hoc baseado no princípio de gerenciar a largura de banda

Devido às rápidas flutuações da largura de banda nas redes sem fios, pode-se usar o conceito de QoS adaptável, no qual a largura de banda da conexão não é fixa em um único

valor, mas é determinado dentro de um intervalo $[b_{\min}; b_{\max}]$ [2].

A largura de banda mínima b_{\min} pode ser considerada como a largura de banda para manter a qualidade no nível mais baixo, e que a conexão do usuário móvel possa se “manter viva”.

Usando o conceito de QoS adaptável, é possível utilizar a largura de banda eficientemente, aumentando assim, o custo/benefício do canal disponível, enquanto se reduz o número de novas conexões perdidas.

Nesta seção é apresentada uma ferramenta de QoS adaptável baseada no princípio de “acomodar” a largura de banda entre as diferentes conexões de forma tal que maximize o custo/benefício, considerando as características próprias das redes *ad hoc*. Na próxima subseção são apresentados os critérios pelos quais se considera válido a aplicabilidade deste método para as redes sem fio *ad hoc*, a seguir é feita a descrição do sistema, mostrando o conceito de aplicação adaptável e o modelo custo/benefício; na outra subseção é detalhado o mecanismo de adaptação da largura de banda e o controle de admissão da conexão, assim como a regra de adaptação.

2.1.1. Aspectos considerados para a aplicação em redes *ad hoc*

O padrão IEEE 802.11, define duas tecnologias de transmissão que usam ondas de rádio sobre a faixa 2.4 GHz: FHSS (Espalhamento do Espectro por Saltos de Frequência) e DSSS (Espalhamento do Espectro por Sequência Direta). Devido à forma como os sistemas FH e DS ocupam a faixa, é necessário que compartilhem a mesma entre seus usuários. Alguns sistemas DS, então, são projetados para usarem menos que a faixa disponível, que é dividida em canais. Assim, cada usuário trabalha em um canal, não havendo interferência. Em sistemas FH, a mesma largura de faixa total é usada por diferentes conexões, mas cada conexão usa canais estreitos de 0.5, 1 ou até 2 MHz e seguem seu próprio padrão de saltos em frequência. Assim sendo, cada conexão vai estabelecer um canal de comunicação com uma largura de banda específica, e as redes sem fio *ad hoc* seguiram esse princípio, pelo qual é válido gerenciar esse recurso com vistas a garantir a QoS.

Uma das características das redes *ad hoc* consideradas na definição do mecanismo proposto é não ter uma estruturada determinada (topologia dinâmica), pelo qual cada nodo que faz a conexão, vai ativar o controle de admissão da conexão e, se for preciso, as regras de adaptação. Também é considerado o fato de não estar dividida em células, pelo qual não ocorrerá *hand-off*, senão quando o computador se movimenta e sai da área de abrangência (domínio), a conexão cai e é preciso estabelecer outra rota, através do método de roteamento definido.

Na próxima seção é feita a descrição do sistema.

2.1.2. Descrição do sistema

Define-se o “domínio” i como aquele formado por um grupo de estações associadas para estabelecer comunicação direta (*BBS: Basic Service Set*), os quais terão uma capacidade de enlace C_i . A unidade de largura de banda de enlace será BU . Considera-se $C_{i,j}$ como a conexão j , estabelecida entre dois nós do domínio i .

No esquema de gerência de largura de banda adaptável, assume-se um controle de erro, também adaptável, que manipule as condições do canal variante no tempo. Existem vários tipos de controle de erros adaptáveis, entre eles:

- **modulação adaptável:** com a mesma capacidade e largura de banda de transmissão, uma modulação com um comprimento M pode alcançar uma taxa de transmissão de dados mais alta com pouca quantidade de erro. Dependendo das condições do canal a modulação pode ser adaptada em WaveLAN (por exemplo, adaptação entre BPSK - Método de Chaveamento por Deslocamento da Fase Binária e QPSK - Método de Chaveamento por Deslocamento da Fase Quadrada [11]).
- **uso adaptável de códigos de controle de erro:** codificando a informação (ou pacote), usando um código de controle de erro, são juntados os bits redundantes. Dependendo das condições do canal observado, os códigos de controle de erro podem ser usados de forma adaptável [3, 6, 7, 9].

Um sistema pode usar uma das combinações anteriores. Uma característica comum destas técnicas é: quanto melhor forem as condições do canal, mais eficazmente os recursos podem ser usados. Isto quer dizer que uma taxa de transmissão mais alta pode ser alcançada com a mesma largura de banda.

É representada a eficiência do uso da largura de banda de uma conexão como r ($r \leq 1$), onde:

$$b = r \cdot w \quad (1)$$

sendo w a largura de banda alocada para esta conexão e b o *throughput* atual (ou taxa). Note-se que r é uma função que varia no tempo, dependendo da localização da conexão e do seu ambiente. Ela será determinada pelo tipo de controle de erro utilizado.

A soma (W_i) das larguras de bandas alocadas para todas as conexões no domínio ($w_{i,j}$: largura de banda da conexão j do domínio i) deve estar limitada superiormente por C_i :

$$W_i = \sum_{j \in S_i} w_{i,j} \leq C_i \quad (2)$$

A soma (B_i) dos *throughputs* de todas as conexões do domínio i ($b_{i,j}$) é representada por:

$$B_i = \sum_{j \in S_i} b_{i,j} \quad (3)$$

B_i varia no tempo em dependência da largura de banda alocada para cada conexão.

A eficiência do uso da largura de banda pode ter diferentes valores discretos, isto é, $r \in \{r_1 (=r_{\min}), r_2, r_3, \dots, r_n (=r_{\max})\}$, limitado só pelo conjunto de modulações e códigos de controle de erros usados, devido à complexidade computacional resultante que é proporcional ao tamanho do conjunto.

Assume-se que cada conexão é especificada num intervalo $[b_{\min}; b_{\max}]$, do *throughput* atual que necessita. Por exemplo, o tráfego multimídia em tempo real pode ser representado em subfluxo hierárquico dependendo das capacidades da rede para ser transportado [12]. Para código de vídeo e áudio, é possível mudar a taxa de saída, ajustando alguns parâmetros de codificação. Além disso, quando uma

estrutura de codificação hierárquica é usada, os dados codificados podem ser seletivamente pulados sem degradar a qualidade percebida da informação decodificada.

Uma função de *benefício* é escolhida tal que o provedor de serviço ganhe $F(b)$ unidades de custo/benefício pelo *throughput*, $b \in \mathcal{B}$, que está garantindo para uma conexão/aplicação. A função de benefício F para uma conexão específica, deve ser uma função arbitrária e não decrescente de b , segundo a estimação do esquema adotado.

Dependendo da aplicação, uma conexão vai ter: 1- a duração mínima desejada (Δt) entre duas adaptações consecutivas, chamadas *intervalo de adaptação mínimo desejado*, e 2- a mudança máxima desejada (Δb) sobre o *throughput* concedido em um processo de adaptação, chamado *adaptação de throughput máximo desejado*.

Em resumo, a conexão $C_{i,j}$ é especificada por um conjunto: $\{B_{i,j}, F_{i,j}(\cdot), \Delta t_{i,j}, \Delta b_{i,j}\}$. Um problema interessante é como adaptar a largura de banda alocada para maximizar o benefício total com estas restrições de adaptação, quando cada função de benefício de conexão varia no tempo, segundo sua largura de banda alocada.

Na próxima seção é proposto o mecanismo para resolver este problema.

2.1.3. Mecanismo de adaptação da largura de banda

No caso das redes sem fio, o canal é o responsável pelas condições do enlace e do controle da largura de banda alocada para cada conexão. Nesta subseção serão tratadas as ações de adaptação iniciadas e orientadas pelo canal, devido às flutuações de carga dos enlaces sem fio.

Há dois tipos de ações de adaptação da largura de banda: *upgrade* e *downgrade*.

A ação *downgrade* é crucial, já que está relacionada com a possibilidade de rejeitar uma nova conexão. Há dois casos em que invocam uma ação *downgrade*:

- **chegada de uma conexão:** quando se trata de estabelecer uma nova conexão entre dois nós, o canal tem que conferir se existe suficiente largura de banda para acomodar esta nova chegada, enquanto se garante a largura de banda exigida mínima para cada conexão existente. Se acontece um conflito na demanda da largura de banda, isto é, a soma de largura de banda alocada é maior que a capacidade de enlace, então o canal tentará fazer *downgrade* das larguras de bandas conectadas (incluindo a nova) sem comprometer a largura mínima necessária para cada uma, de forma tal que se possa estabelecer a nova conexão.
- **mudança na condição do canal:** uma ação de *downgrade* também pode ser ativada quando as condições de uma conexão ficam muito ruins e o mecanismo de controle de erro requer mais largura de banda (por redundância) para manter a QoS dessa conexão. Se não há mais largura de banda disponível para essa conexão, então uma ação de *downgrade* é invocada.

Por outro lado, uma ação *upgrade* pode ser ativada quando a largura de banda adicional fica disponível como resultado de: 1- uma terminação de conexão, 2- as condições do canal são melhoradas e diminuem a necessidade da redundância para o controle do erro da conexão. Na próxima seção é definido o critérios para o controle da admissão de uma nova conexão.

2.1.4. Controle de admissão da conexão

Considera-se $b_{i,j}(\min)$ e $b_{i,j}(\max)$ os atuais *throughputs* máximo e mínimo de $C_{i,j}$. No processo de controle de admissão confere-se sempre se é possível prover cada conexão com seu *throughput* mínimo.

O teste de admissão para uma nova conexão C_{nova} no canal i pode ser representado por:

$$\sum_{j \in S_i} (b_{i,j}(\min) / r'_{i,j}) + b_{\text{nova}}(\min) / r_{\min} \leq C_i \quad (4)$$

Onde r' é a eficiência da utilização da largura de banda no pior dos casos.

Na próxima seção serão descritas as regras para realizar as adaptações no canal.

2.1.5. Regra de adaptação

As perguntas básicas relativas à adaptação da largura de banda são: 1. Quando adaptar? 2. Quem adaptar? e 3. Quanto adaptar?. A adaptação de largura de banda tentará maximizar o benefício das conexões já admitidas enquanto satisfaça os requerimentos de adaptação da conexão específica.

Para explicar melhor esta regra de adaptação, são definidos dois parâmetros para cada conexão: a tendência a *upgrade* $\Delta R^+_{i,j}$ e tendência a *downgrade* $\Delta R^-_{i,j}$ da função de benefício da conexão $C_{i,j}$, definido por:

$$\Delta R^+_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{se } l \text{ é o máximo} \\ \frac{F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_{l+1}) - F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_l)}{w_{l+1} - w_l} & \text{em outro caso} \end{cases} \quad (5)$$

$$\Delta R^-_{i,j} = \begin{cases} \infty, & \text{se } l=1 \\ \frac{F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_l) - F_{i,j}(r_{i,j} \cdot w_{l-1})}{w_l - w_{l-1}} & \text{em outro caso} \end{cases} \quad (6)$$

Onde l é o nível da largura de banda atual recebida pela conexão $C_{i,j}$, isto é, $b_{i,j} = b_l$ ou $l = \text{nível}(C_{i,j})$.

Quando uma nova conexão é admitida, ou as condições do canal ficam deterioradas, a alocação da largura de banda no canal poderia se tornar maior que a capacidade de enlace:

$$W_i = \sum_{j \in S_i} w_{i,j} > C_i \quad (7)$$

então, a largura de banda alocada por algumas conexões (incluindo a nova conexão) deveria ser reduzida.

Na próxima seção é descrita a ferramenta implementada para a validação do mecanismo, a partir dos elementos aqui descritos.

2.2. Ferramenta de simulação utilizada

A ferramenta usada é um software desenvolvido a partir dos critérios analisados no mecanismo proposto. O software foi projetado de acordo com o paradigma de Orientação a Objetos, pois se considera uma forma de abstração ideal para o problema em questão. A especificação das classes do projeto são independentes entre si, cada uma com seus

respectivos atributos e comportamentos. Foram abstraídas algumas classes para aumentar a simplicidade e compreensão do mesmo. A linguagem de programação usada foi o C++ (C++ Builder), pois possui compatibilidade de arquivos com o simulador NS2 (*Network Simulation* versão 2), visando a migração da implementação para esse simulador de rede.

A função principal do programa é criar ambientes de redes em fio de topologia *ad hoc*, no qual seja gerenciada a largura de banda, considerando as necessidades de *throughput* que necessita cada conexão em função do benefício do provedor do canal. A janela principal do programa é mostrada na fig. 1.

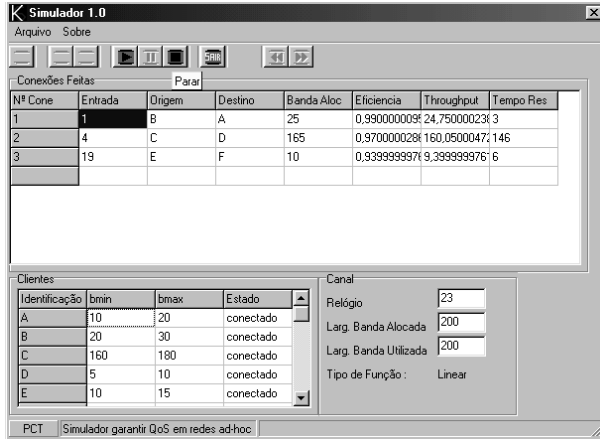


Figura 1. Tela de uma simulação rodando

Como pode ser apreciado na fig. 1, a tela inicial possui vários botões: Configurar o canal, Adicionar Cliente, Adicionar Conexão, Simular, Pause e Pára, além de duas grades laterais para a visualização de todos os estados das conexões. Também contem vários dados referentes ao canal que são atualizados instantaneamente de acordo com as mudanças no mesmo.

Como resultado da simulação, são gerados dois tipos de arquivos *logs*: um com os dados dos clientes e outros com os dados das conexões no decorrer do tempo. No primeiro tipo de arquivos são armazenados: o identificador do cliente, o valor do *throughput* mínimo e o valor do *throughput* máximo. No arquivo de *log* das conexões são armazenados: o horário de ocorrência da conexão, o acontecimento (início da conexão, desconexão, *downgrade*, *upgrade*, reajuste e fracasso.), o identificador do cliente de origem, o identificador do destinatário, a largura de banda utilizada, a eficiência do canal, ΔR^+ , ΔR^- , Δt^+ , Δt^- , Δb^+ , Δb^- , tempo total da conexão, tempo do último *downgrade* e tempo do último *upgrade*.

A seguir é definida a metodologia usada na validação do mecanismo.

2.3. Metodologia usada para a validação

No ambiente de simulação os computadores encontram-se numa sala, na qual todos os pontos podem ser alcançados. Semelhante a uma sala de reuniões ou de aulas, onde é estabelecida uma rede *ad hoc* formada pelos computadores portáteis dos empresários ou alunos.

Foram feitas as seguintes considerações no ambiente de simulação:

- Existem 30 computadores na sala, podendo ser estabelecidas até 15 conexões. Este fato baseia-se na existência no mercado de placas de redes sem fio IEEE 802.11, que permitem criar redes sem fio, definindo até 15 canais de transmissão [14].
- O tempo de duração e ativação de cada conexão foi estabelecido a partir de valores aleatórios, pelo qual todas as conexões tem a mesma probabilidade de ocorrer a qualquer momento.
- Formaram-se dois grupos de usuários: (1) com intervalos de *throughput* entre [0,5, 2] e (2) com intervalos de *throughput* entre [0,5, 1]. Considerando o descrito no padrão IEEE 802.11, para transmissões usando as técnicas de FHSS.
- A função de benefício foi definida de forma linear ($F(b)=Xb+Y$), onde $X=1$ e $Y=0$ (i.e. $F(b) = b$).
- O intervalo de adaptação mínimo desejado (Δt) igual a 5. E o *throughput* de
- adaptação máximo desejado (Δb) igual a 0.5.
- A eficiência do uso da largura de banda das conexões (r) foi definida como 0.98.
- O domínio tem uma capacidade de largura de banda (C_i) igual a 10 BU.

Foi escolhido um valor alto de eficiência de largura de banda ($r=0.98$), considerando que no interior da sala não devem existir outros equipamentos que provoquem interferências enquanto os computadores estão transmitindo. Como referência para a comparação foram realizados experimentos na rede *ad hoc* simulada onde não estiveram ativados as ações de adaptabilidade. Definindo o *throughput* de adaptação máximo desejado (Δb) igual a 0 e o *throughput* mínimo/máximo de cada cliente [b_{min} , b_{max}], com o mesmo valor $b_{min}=b_{max}=b$. Baseando-se nestas especificações foram realizados 60 experimentos, deles 30 usando o mecanismo de adaptabilidade e os outro 30 sem usar adaptabilidade da largura de banda. As incidências foram armazenados nos arquivos. E, posteriormente, foram analisados os dados para a obtenção dos principais resultados. No próxima seção são apresentados os resultados da simulação, usando a metodologia e considerações descritas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados coletados durante os experimentos mostrou como o mecanismo de adaptação garante parâmetros de qualidade do serviço (neste caso, o *throughput*).

Durante o processamento dos dados foi calculado a probabilidade de que uma nova conexão seja rejeitada, variando em função da quantidade de conexões já estabelecidas. Os valores foram obtidos tanto para os experimentos realizados no mecanismo adaptável como para o não-adaptável.

Para o cálculo da probabilidade foi usada a seguinte expressão:

$$P_m = \frac{\sum_{n=1}^{Q_e} C r_{n, m}}{Q_e} \quad (8)$$

Onde,

P_m é a probabilidade de uma nova conexão ser rejeitada quando existem m conexões estabelecidas, m varia entre 1..15.

Q_e é a quantidade de experimentos realizados os quais foram igual a 30, tanto no mecanismo adaptável como no não-adaptável.

$Cr_{n,m}$ é uma variável discreta que toma valor 0, se a nova conexão pode ser aceita ou 1, se a conexão é rejeitada. O índice n , varia em função dos experimentos realizados, é dizer, entre 1..30. E o índice m , varia em função da quantidade de conexões já estabelecidas, na chegada de uma nova conexão, é dizer, entre 1..15.

Através da fórmula foram calculados os diferentes valores, usando os dados armazenados nos arquivos gerados pelo software. Os resultados são mostrados na fig. 2.

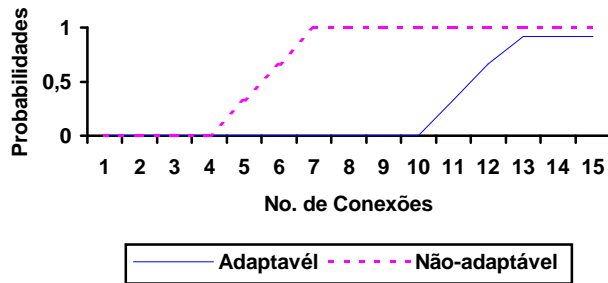


Figura 2. Probabilidade de uma nova conexão ser rejeitada

Como pode ser visto na fig. 2., no mecanismo adaptável é menor a probabilidade para que alguma conexão seja rejeitada, quando se aumenta a quantidade de conexões no sistema. No caso em que o número de conexões for menor que 10 a probabilidade para que fique alguma conexão bloqueada é 0. No mecanismo não-adaptável, a partir de 4 conexões já começa a aumentar a probabilidade de que as próximas conexões sejam rejeitadas. Isto mostra como um maior número de conexões podem ser estabelecidas quando o mecanismo de adaptação é aplicado.

Outros valores comparados, durante o processamento dos dados, foi o aproveitamento do canal que faz o mecanismo adaptável, em relação ao mecanismo não-adaptável.

Para o cálculo dos valores do aproveitamento foi usada a seguinte fórmula:

$$W_m = \frac{\sum_{n=1}^{Q_e} W_{i,n,m}}{Q_e} \quad (9)$$

Onde,

W_m é a média da Largura de Banda alocada em cada experimento quando estão estabelecidas m conexões, m varia entre 1..15.

Q_e é a quantidade de experimentos realizados os quais foram igual a 30, tanto no mecanismo adaptável como no não-adaptável.

$W_{i,n,m}$ é o valor da largura de banda alocada no experimento n quando existiam m conexões estabelecidas. O índice n , varia em função dos experimentos realizados, é dizer, entre 1..30. E o índice m , varia em função da quantidade de conexões já estabelecidas, é dizer, entre 1..15.

Os valores obtidos de aplicar a fórmula são representados na fig. 3.

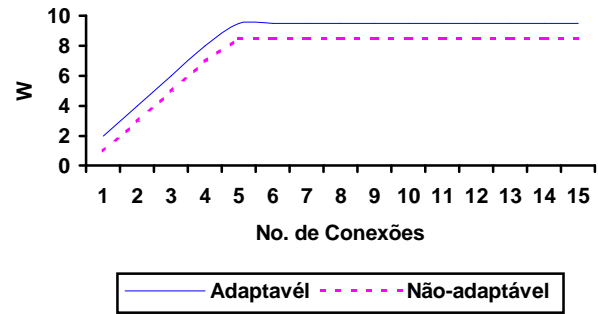


Figura 3. Alocação da largura de banda (W)

Na fig. 3 é mostrado que, no mecanismo adaptável, para 5 conexões estabelecidas a largura de banda alocada (W) chega a 10 BU, usando toda a capacidade do canal. Por outro lado, no caso do mecanismo não-adaptável é usada apenas 9 BU. Portanto, o mecanismo adaptável permite melhor uso do canal, aumentando, dessa forma, os benefícios.

Os resultados obtidos provam que: com a aplicação do mecanismo de gerência da largura de banda para redes sem fio *ad hoc*, maior número de conexões podem ser admitidas e o canal pode ser usado de forma mais eficiente.

4. CONCLUSÕES

As redes sem fio são consideradas a quarta revolução da computação, abrindo novas áreas de pesquisas. Elas derivam do desenvolvimento das telecomunicações e da informática, unido à necessidade do homem de estar sempre informado. As redes sem fio são um importante resultado da nova "era da informação".

As redes sem fio *ad hoc* são a principal tendência dentro da computação móvel e tem diversas aplicações, fundamentalmente em situações onde não existe uma infraestrutura de rede fixa ou a sua implementação não é viável.

Neste trabalho foi proposto um mecanismo de QoS adaptável sobre o princípio de gerência de largura de banda com o objetivo de garantir qualidade de serviço para as redes sem fio do tipo *ad hoc*. O problema foi apresentado assim como a sua solução, através das ações *downgrade* e *upgrade*. Foram consideradas características próprias das redes *ad hoc*, como topologia dinâmica e queda da conexão quando os computadores se deslocam.

Para validar a proposta, foi desenvolvido um programa que implementa o mecanismo de gerência de largura de banda e permite definir ambientes de redes sem fio *ad hoc*. O software apresenta uma interface amigável, ao mesmo tempo que permite armazenar em arquivos as incidências que acontecem durante a simulação para sua posterior análises.

Usando o programa foi simulado uma configuração de rede *ad hoc*, na qual as conexões são estabelecidas entre os computadores aplicando o método de QoS adaptável. Os resultados obtidos, através dos experimentos realizados, mostram que o mecanismo de QoS adaptável admite fazer maior número de conexões, enquanto utiliza de forma mais eficiente a escassa disponibilidade de largura de banda. Provando dessa forma as vantagens que tem a aplicação do

método quando se deseja garantir parâmetros de qualidade de serviço, neste caso o *throughput*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bantz,D.F. and Banchot, F.J. **Wireles LAN Design Alternatives**, IEEE Network Magazine. Vol.8. March/April 1994.
- [2] Choi, S. **QoS Guarantees in Wireless/Mobile Networks**. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy. University of Michigan. 1999.
- [3] Choi, S. and Shin, K.G. **Cost-effective adaptive error control using a hybrid of FEC and ARQ in wireless networks**. Technical Report CSE-TR-402-99. University of Michigan. 1999.
- [4] Corson, M. S. **Issues in Supporting Quality of Service in Mobile Ad hoc Networks**, Proc. IFIP Fifth International Workshop on Quality of Service (IWQOS'97), Columbia University
- [5] Derfler,F.J.Jr, Freed L.: **Como funcionam as redes** Editora Quark, 1993.
- [6] Eckhardt, D.A. and Steenkiste, P. **Improving wireless LAN performance via adaptive local error control**. Proc IEEE ICNP'98. Pp. 327-338. 1998.
- [7] Elaoud, M. and Ramanathan, P. **Adaptive use of error-correcting codes for real-time communication in wireless networks**. Proc. IEEE INFOCOM'98. Pp548-555. 1998.
- [8] Ferreira, A.A. e Robson, G. **O Paradigma computacional da Próxima Década**, I Escola de Informática da SBC, Edição Norte, Pará 1999.
- [9] Joe, I. **An adaptive hybrid ARQ scheme with concatenated FEC codes wireless ATM**, Proc. ACM/IEEE MobiCom'97. Pp 131- 138. 1997.
- [10] Katz, R.H. **Adaptation and Mobility in Wireless Information Systems**. IEEE Personal Communications Magazine. Vol 1. No 1. 1994.
- [11] Lucent Technologies. **IEEE 802.11 WaveLAN PC card – user's guide**, 1998.
- [12] Naghshineh, M. and Willebeek-LeMair, M. **End-to End QoS Provisioning in Multimedia Wireless/Mobile Networks Using an Adaptive Framework**, IEEE Communications. Vol. 35. No.11. November 1997.
- [13] Valadas,R.T., Tavares R.A. and Oliveira A.M. **The infrared Physical Layer of the IEEE 802.11 Stander for Wireless local Area Networks**. IEEE Communication. Vol 36, Nr.12, pp 107-112, December, 1998.
- [14] www.proxim.com. Página visitada 3 de Novembro. 14:00 horas.