

PROTOCOLO DE MÚLTIPLO ACESSO COM PROBABILIDADES DE PERMISSÃO DINÂMICAS - DPMA

Paulo Roberto de Lira Gondim (pgondim@ime.eb.br)

Ronaldo Moreira Salles (moreira@ime.eb.br)

Instituto Militar de Engenharia - IME

Departamento de Engenharia de Sistemas

Praça Gal. Tibúrcio 80 - CEP: 22290-270

RESUMO

Este trabalho apresenta o protocolo DPMA, Múltiplo Acesso com Probabilidades de Permissão Dinâmicas, com a finalidade de fornecer suporte ao tráfego de voz e dados em redes de comunicação móveis celulares, bem como, em serviços de comunicação pessoal (PCS). A operação do protocolo se dá por meio de dois processos: Contenção e Reserva. Para o processo de contenção, a estimação do número de terminais em contenção é obtida de uma forma original, enquanto que para o processo de Reserva o procedimento adotado é o mesmo que o do TDMA. Resultados de simulação para voz, *low delay data* (LD), células ATM e *high delay data* (HD) foram apresentados respeitando-se os requisitos de QoS, tais como probabilidade de descarte de pacotes e retardo médio de acesso ao canal. Foi constatado que o esquema garante máxima prioridade para o tráfego de voz e alta utilização do canal.

ABSTRACT

A Dynamic Permission Multiple Access Protocol (DPMA) is proposed in order to serve voice and data traffic for cellular networks and wireless Personal Communication Services (PCS). Reservation and Contention processes are considered during the operation of the protocol. The Reservation process considers a TDMA procedure. For the Contention process, the estimation of the number of contending terminals is obtained in an original way. Simulation results to voice, low delay data, ATM cells and high delay data are presented with respect to QoS requirements, such as packet dropping probability and mean access delay. We observe that the scheme guarantees maximum priority to voice traffic as well as good channel utilization.

1. INTRODUÇÃO

Comunicação multimídia vem se expandindo rapidamente ao redor do mundo, necessitando de protocolos capazes de atender à grande demanda de serviços a serem oferecidos aos usuários. Muitos protocolos de múltiplo acesso tem sido propostos com a finalidade de fornecer suporte ao tráfego multimídia no ambiente sem fio: PBMA [KHAN96], E-PRMA [ZHUA95], FTDB, FCDMA [BURR96] e ISMA [ENOM96] constituem algumas destas propostas. Cada um deles trata o tráfego multimídia de uma forma diferente, procurando atender a requisitos de qualidade de serviço (QoS) estabelecidos, tais como a probabilidade de descarte de pacotes, o retardo médio de acesso ao canal e o *throughput* do sistema.

Este trabalho apresenta o DPMA, que se constitui em um protocolo do tipo RRA (*Reservation Random Access*), baseado em multiplexação estatística, e proposto para atender ao tráfego de voz e dados em uma rede de comunicação móvel celular. Ele utiliza o conceito de probabilidade de permissão [NAND91] [GOOD91], p , a qual é dinamicamente variada de acordo com uma adaptação no algoritmo Pseudo-Bayesiano [RIVE87].

O protocolo foi analisado em um sistema multimídia com quatro tipos distintos de tráfego: voz, LD (*low delay data*), células ATM e HD (*high delay data*). O número de terminais, assim como os outros parâmetros do sistema, foram variados de forma a permitir uma melhor avaliação de desempenho do protocolo. O Esquema de Prioridades garantiu ao tráfego de voz a maior probabilidade de acesso ao canal, acarretando em uma boa resposta do protocolo para este tipo de tráfego.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 trata do ambiente celular e descreve dois protocolos que serviram como base de desenvolvimento para o DPMA; na Seção 3 o protocolo DPMA é apresentado com todas as suas características de funcionamento; na Seção 4 descreve-se a simulação do protocolo por meio de uma ferramenta específica desenvolvida sendo os resultados das simulações apresentados em gráficos. Por fim, a última seção é dedicada as conclusões.

2. PROTOCOLOS DE MÚLTIPLO ACESSO PARA REDES DE COMUNICAÇÃO CELULARES

2.1 O protocolo PRMA (*Packet Reservation Multiple Access*)

PRMA utiliza multiplexação estatística, e serve principalmente para atender ao tráfego de voz em pacotes em redes celulares. O processo de contenção é baseado no que ocorre no Slotted-ALOHA [TANE96], enquanto que o de reserva segue um procedimento TDMA. O eixo do tempo é dividido em quadros e cada quadro possui um número fixo de *slots*. Os *slots* são classificados como "reservados" ou "livres" de acordo com as mensagens de *feedback* enviadas pela estação base ao final de cada *slot*.

Cada terminal móvel entra em contenção no início de um *talkspurt* (período ininterrupto de atividade de voz), e uma vez transmitindo com sucesso em um *slot* livre, o *slot* fica reservado para o terminal nos quadros seguintes até o final do *talkspurt*, quando a fonte volta para o estado de silêncio. A confirmação de reserva é enviada pela base por meio de um pacote ACK (*Acknowledgment*). O envio de um pacote NACK indica uma confirmação negativa.

Para realizar uma transmissão o terminal deve verificar se o *slot* atual está livre e, caso positivo, tentar obter permissão para transmitir. A probabilidade de permissão, p , é um parâmetro de projeto para o sistema devendo ser adequadamente ajustada. As permissões são adquiridas através da simulação desta probabilidade por meio de um gerador de números pseudo-aleatórios. Um valor muito pequeno para p irá refletir em um baixo *throughput* e num grande número de *slots* livres. Em contrapartida, um valor muito alto irá aumentar muito o número de colisões, o que dificultará a obtenção de reserva.

O terminal em contenção tenta transmitir o pacote inicial de um *burst* até que a estação base envie um ACK, ou até que o pacote seja descartado pelo terminal, devido a um atraso máximo ser atingido. Este atraso, D_{\max} [GOOD91], é determinado por meio de estudos relativos ao tráfego de voz, sendo utilizado como parâmetro no projeto de sistemas PRMA.

Pelo fato de realizar multiplexação estatística, um sistema PRMA atende um número de usuários bem maior do que um sistema TDMA equivalente. Na prática, para uma operação apropriada, é estabelecido um limite máximo para o número de usuários no sistema, N_{\max} , garantindo assim uma determinada QoS. Esporadicamente, o número de usuários, N_u , pode ultrapassar este valor, porém deve haver um controle através do estabelecimento de uma probabilidade de *overload* para o sistema ($\text{prob. overload} = \text{prob. } N_u > N_{\max}$).

2.2 O protocolo PBMA (*Priority-Based Multiple Access*)

PBMA [KHAN96] é um protocolo baseado em prioridades que classifica cada tipo (classe) de tráfego de acordo com seus requisitos, e atribui para cada um deles uma determinada prioridade.

O protocolo utiliza um esquema de *slots* do tipo TDMA, porém os diferencia entre **R-slots**, **I-slots** e **A-slots** (respectivamente, slots de reserva, informação e confirmação). O período de contenção só ocorre durante os **R-slots**, enquanto que a informação só pode ser transmitida nos **I-slots**. Cada quadro no *up-link* contém N *slots*, onde $N = N_R + N_I$, N_R representa o número de **R-slots** e N_I o número de **I-slots**. Os **R-slots** ficam distribuídos ao longo do quadro e são separados

por um intervalo de tempo t_R . Os *A-slots* só existem no *downlink* e são usados pela estação Base como resposta a um *R-slot*.

Cada classe tem a chance de acessar o canal durante os *R-slots* de acordo com seu nível de prioridade. As colisões só ocorrem dentro de uma mesma classe, já que uma classe de mais baixa prioridade só poderá entrar em contenção após todas as classes de maior prioridade terem entrado.

Um terminal entra em contenção através da transmissão de um pacote RP (*Reservation Packet*) utilizando o protocolo S-ALOHA no *R-slot*. O pacote RP contém a informação de identificação do terminal, bem como o número de *I-slots* requeridos para a reserva. Após a recepção com sucesso do pacote RP, a estação Base garante uma reserva para o terminal com o número de *slots* requeridos, se disponíveis, nos próximos quadros. Esta informação é transmitida através do *down-link* em *slots* do tipo A (*Acknowledgments*). Os *A-slots* especificam quais os *I-slots* reservados e qual a frequência da portadora que deverá ser usada na transmissão. O terminal em contenção só poderá transmitir um pacote RP se tiver prioridade e permissão para transmitir.

O mecanismo de prioridades é baseado em um ciclo chamado PAC (*Priority Assignment Cycle*). A cada término do PAC a preferência de acesso é novamente atribuída aos usuários de maior prioridade. O ciclo PAC consiste de L_{PAC} *R-slots*. A seguir uma descrição do esquema:

- 1) No começo do PAC, usuários de classe 1 (voz) tentam transmitir seus pacotes RP no primeiro *R-slot* se eles tiverem permissão para tal. Se o RP for recebido com sucesso pela Base ou se colisões ocorrerem, apenas os usuários de mesma prioridade poderão transmitir no próximo *R-slot*.
- 2) Se um *R-slot* não for utilizado pelos usuários da classe 1, os usuários da classe 2 ganham o direito de acessar o canal e podem transmitir no próximo *R-slot* do ciclo.
- 3) Usuários da classe K poderão acessar o canal somente após $(K-1)$ *R-slots* livres.
- 4) L_{PAC} *R-slots* constituem um ciclo e um novo ciclo começa no próximo *R-slot*.

3. M. A. COM PROBABILIDADES DE PERMISSÃO DINÂMICAS - DPMA

3.1 Características Gerais

O DPMA foi criado com a finalidade de fornecer suporte ao tráfego multimídia em Redes Móveis Celulares, atribuindo a cada tipo (classe) de tráfego uma prioridade de acesso ao canal. O protocolo utiliza o conceito de probabilidade de permissão, abordado no Item 2.1 (PRMA), de forma que cada classe tenha um tratamento diferenciado a fim de garantir a qualidade de serviço (QoS) estabelecida.

As prioridades são implementadas através de um Esquema de Prioridades, que estabelece uma probabilidade de permissão diferente para cada tipo de tráfego de acordo com a prioridade. Escolhendo-se valores adequados para a probabilidade de permissão o tráfego mais prioritário terá maior probabilidade de acessar o canal, em consequência, o protocolo responderá com um melhor desempenho para os tráfegos mais críticos e exigentes.

A seguir na Tabela 1 um exemplo do Esquema de Prioridades considerando quatro classes distintas de tráfego.

TABELA 1: Esquema de Prioridades para o DPMA

<i>Tráfego</i>	<i>Prioridade*</i>	<i>Probabilidade**</i>	
Classe 1	α_1	$p / (PF)^{\alpha_1}$	
Classe 2	α_2	$p / (PF)^{\alpha_2}$	* $\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3 \leq \alpha_4$;
Classe 3	α_3	$p / (PF)^{\alpha_3}$	** $PF \geq 1$.
Classe 4	α_4	$p / (PF)^{\alpha_4}$	

Os parâmetros α_1 , α_2 , α_3 e α_4 representam as prioridades atribuídas a cada tráfego. As probabilidades de permissão são extraídas da terceira coluna da tabela, em função das prioridades, do parâmetro PF (Fator de Prioridade) e do parâmetro p . A razão entre as probabilidades de permissão são expressas em potências do Fator de Prioridade.

De acordo com as relações * e ** a classe mais prioritária (Classe 1) terá a maior probabilidade de permissão apresentando o melhor desempenho.

É importante observar que se $PF = 1$ ou $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4$, todas as classes terão o mesmo valor para a probabilidade de permissão, desta forma, não haverá mais prioridades no atendimento entre as classes.

O parâmetro p é alterado dinamicamente de acordo com uma adaptação no Algoritmo Pseudo-Bayesiano apresentado em [RIVE87], sendo utilizado como estimador para o número de terminais em contenção. O algoritmo tenta ajustar o parâmetro às variações no tráfego de entrada no sistema. A descrição deste algoritmo, bem como, da forma como o parâmetro p é alterado serão abordados no Item 3.3.

A seguir uma descrição do funcionamento do protocolo e das estruturas dos quadros, *slots* e pacotes consideradas neste trabalho.

3.2 Descrição

O funcionamento do protocolo proposto ocorre por meio de dois processos distintos: o de Contenção, que é baseado no protocolo S-ALOHA [TANE96] [BERT92], e o de Reserva. No processo de Contenção o terminal disputa pelo acesso ao canal e, em caso de sucesso, passa para o processo de Reserva e recebe uma reserva para transmitir seus pacotes de informação segundo uma política TDM.

A estrutura dos quadros, *slots* e pacotes é mostrada pela Figura 1. Pode-se observar que o canal MS-BS é dividido em *slots* do tipo R e I, enquanto que o canal BS-MS em *slots* do tipo A e I. Da mesma forma que em [KHAN96], os *slots* R são igualmente espaçados dentro dos quadros por um período de tempo t_R . Sendo F o tempo de duração do quadro, e N_R o número de *slots* do tipo R, tem-se $t_R = F / N_R$. Os *slots* R são dedicados para a transmissão dos pacotes de reserva, R-packs, onde o processo de Contenção ocorre, e os *slots* A para a transmissão dos pacotes de confirmação em resposta aos *slots* R. Os pacotes de confirmação podem ser de três tipos distintos: espera (WACK), confirmação positiva (ACK) e confirmação negativa (NACK).

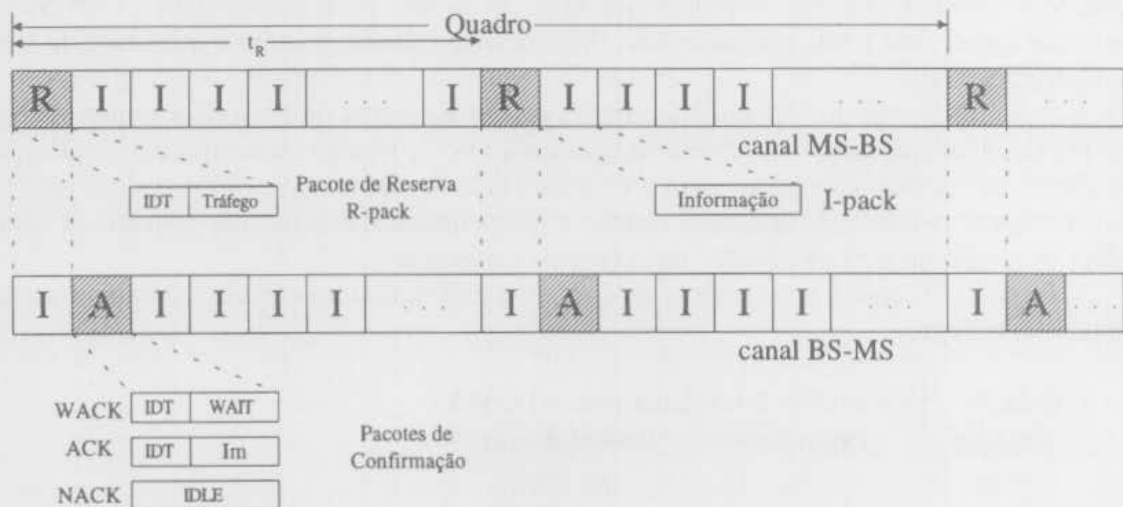


Figura 1. Estrutura dos quadros, *slots* e pacotes do DPMA.

No início do período ativo, o terminal entra em Contenção e transmite um R-pack no próximo *slot R*, caso tenha permissão para tal. As permissões são geradas pelo próprio terminal em função do parâmetro p [NAND91] e [GOOD91], probabilidade de permissão, estabelecido para o tipo de tráfego gerado por este terminal. Após a transmissão de um R-pack, o terminal escuta o canal BS-MS e fica a espera do pacote de confirmação. Caso ele receba um ACK, ele sai do período de contenção e entra no período de reserva transmitindo seus pacotes de informação no(s) *slot(s)* previamente alocado(s). O número de *slots* alocados depende do tipo de tráfego gerado por cada terminal. Esta informação é passada para a estação Base por meio do campo "tráfego" pertencente ao R-pack. O outro campo "IDT" contém um identificador para cada terminal.

O terminal só irá perder sua reserva quando ficar inativo e a estação Base perceber que aquele(s) *slot(s)* reservado(s) não está(ão) mais sendo usado(s). Quando o terminal voltar ao período ativo todo processo se reinicia.

Caso ocorra uma colisão com os R-packs dos outros terminais em Contenção, ou ocorra um erro de transmissão no canal, a estação Base irá transmitir um NACK no canal BS-MS. Ao receber o pacote NACK, o terminal permanece em Contenção e aguarda a chegada do próximo *slot R* para uma próxima tentativa. Um NACK também é transmitido sempre que o *slot R* passa vazio, ou seja, sem ser utilizado por nenhum terminal.

De acordo com a descrição anterior, o protocolo possui a característica de realizar o Compartilhamento Completo [EPST95] do canal e, sendo assim, usuários de maior banda serão prejudicados (maior probabilidade de bloqueio). Com a finalidade de contornar este problema foi criada uma fila de espera com prioridades controlada pela estação Base. Quando um terminal transmite o R-pack e não colide, porém não há disponibilidade de *slots* para serem alocados para a sua transmissão (canal ocupado), a estação Base envia um pacote WACK fazendo com que o terminal fique em estado de Espera (*Wait*). A sua requisição é inserida na fila de espera e tão logo haja *slots* disponíveis, a estação Base envia um ACK para este terminal indicando fim do estado de Espera e especificando os *slots* reservados para a sua transmissão. Observe-se que pacotes do tipo WACK não foram previstos no protocolo PBMA.

Pode-se observar que as colisões ficam restritas aos *slots R* e dependem do parâmetro p . Um número grande de colisões, assim como uma baixa utilização dos *slots R* são prejudiciais ao desempenho do sistema e podem indicar má configuração dos parâmetros (evidentemente, um grande número de colisões pode indicar também um grande número de usuários tentando transmitir).

3.3 O Algoritmo Pseudo-Bayesiano

Este algoritmo é na verdade uma aproximação feita em uma técnica de múltiplo acesso anterior conhecida como *Bayesian broadcast* [RIVE87]. Visando uma melhor fundamentação relativa à obtenção do número de terminais em contenção, e por facilidade de consulta, o Apêndice contém uma breve descrição desta técnica, com base também em [SALL98] e em [BERT92]. De acordo com o Apêndice, tem-se:

$$\eta_{k+1} = \begin{cases} \max\{\lambda, \eta_k + \lambda - 1\}, & \text{idle ou sucesso} \\ \eta_k + \lambda + (e - 2)^{-1}, & \text{colisão} \end{cases} \quad (1)$$

onde,

η_k - valor estimado para o número de terminais em contenção no k -ésimo *slot*;

λ - taxa média de chegadas de pacotes por *slot* de tempo.

A probabilidade de permissão é então obtida a partir desta estimativa por $p(\eta) = \min\{1, 1/\eta\}$ e, o operador **max** garante que a estimativa nunca seja menor que a contribuição das novas chegadas.

3.4 Estimando o Número de Terminais em Contenção

O sistema adotado para fins de estudo é composto por uma única célula metropolitana (ambiente microcelular) com uma estação base no seu centro servindo terminais móveis que podem gerar quatro classes de tráfego: VOZ, LD (*Low Delay Data*), ATM (*células ATM*) e HD (*High Delay Data*).

O DPMA utiliza uma adaptação do algoritmo Pseudo-Bayesiano descrito anteriormente. A estimativa para o número de terminais em contenção não é mais calculada a cada *slot* de tempo como no S-ALOHA, e sim a cada intervalo de tempo t_R (a cada *slot* do tipo **R**), o tráfego considerado também é alterado de apenas um para vários tipos distintos.

Sejam $n_V, n_{LD}, n_{ATM}, n_{HD}$ respectivamente os números de terminais de VOZ, LD, ATM e HD em contenção e, $p_V, p_{LD}, p_{ATM}, p_{HD}$ as respectivas probabilidades de permissão, a expressão para *average attempt rate* é agora dada por:

$$n_V \cdot p_V + n_{LD} \cdot p_{LD} + n_{ATM} \cdot p_{ATM} + n_{HD} \cdot p_{HD} \quad (2)$$

e a probabilidade de um sucesso na transmissão:

$$n_V p_V (1-p_V)^{n_V-1} (1-p_{LD})^{n_{LD}} (1-p_{ATM})^{n_{ATM}} (1-p_{HD})^{n_{HD}} + n_{LD} p_{LD} (1-p_{LD})^{n_{LD}-1} (1-p_V)^{n_V} (1-p_{ATM})^{n_{ATM}} (1-p_{HD})^{n_{HD}} + n_{ATM} p_{ATM} (1-p_{ATM})^{n_{ATM}-1} (1-p_V)^{n_V} (1-p_{LD})^{n_{LD}} (1-p_{HD})^{n_{HD}} + n_{HD} p_{HD} (1-p_{HD})^{n_{HD}-1} (1-p_V)^{n_V} (1-p_{LD})^{n_{LD}} (1-p_{ATM})^{n_{ATM}} \quad (3)$$

a cada instante a expressão relativa à Eq. (2) é idealmente dada por:

$$n_V \cdot p_V + n_{LD} \cdot p_{LD} + n_{ATM} \cdot p_{ATM} + n_{HD} \cdot p_{HD} = 1 \quad (4)$$

Considerando os seguintes valores para as prioridades, $\alpha_V = 0$, $\alpha_{LD} = 1$, $\alpha_{ATM} = 2$ e $\alpha_{HD} = 3$, de acordo com o Esquema apresentado na Tabela 1 tem-se: $p_V = p$, $p_{LD} = p/PF$, $p_{ATM} = p/(PF)^2$ e $p_{HD} = p/(PF)^3$. Assim, substituindo estas probabilidades na Eq. (4):

$$p = \left(n_V + \frac{n_{LD}}{PF} + \frac{n_{ATM}}{PF^2} + \frac{n_{HD}}{PF^3} \right)^{-1} \quad (5)$$

n_V, n_{LD}, n_{ATM} e n_{HD} são desconhecidos e devem ser estimados pelo algoritmo, assim, o valor ideal para p em (5) agora é obtido por:

$$p(\eta_V, \eta_{LD}, \eta_{ATM}, \eta_{HD}) = \min \left(1, \left(\eta_V + \frac{\eta_{LD}}{PF} + \frac{\eta_{ATM}}{PF^2} + \frac{\eta_{HD}}{PF^3} \right)^{-1} \right) \quad (6)$$

onde $\eta_V, \eta_{LD}, \eta_{ATM}$ e η_{HD} são os valores estimados de n_V, n_{LD}, n_{ATM} e n_{HD} , sendo calculados por meio de uma adaptação no Algoritmo Pseudo-Bayesiano [BERT92] [RIVE87], através da regra:

$$\eta_i^{k+1} = \begin{cases} \max\{\lambda_i, \eta_i^k + \lambda_i - 1\}, & \text{idle ou sucesso } i \\ \min\{N_i, \eta_i^k + \lambda_i + (e-2)^{-1}\} & \text{colisão} \\ \eta_i^k + \lambda_i, & \text{sucesso } j \neq i \end{cases} \quad (7)$$

- $i, j = 0(\text{VOZ}), 1(\text{LD}), 2(\text{ATM})$ ou $3(\text{HD})$;
- $\lambda_i = \frac{N_i \cdot \pi_i^{\text{OFF}} \cdot F}{S_i^{\text{av}} \cdot N_R}$, \rightarrow número médio de terminais i que entraram em contenção a cada t_R ;
- N_i \rightarrow número total de terminais do tipo i ;
- π_i^{OFF} \rightarrow probabilidade de um terminal i encontrar-se inativo;
- S_i^{av} \rightarrow duração média do período inativo para um terminal do tipo i ;
- N_R \rightarrow número de *slots* do tipo **R** por quadro;
- F \rightarrow duração do quadro em segundos.

Com os valores de PF e α , os terminais móveis só precisariam do parâmetro p para obterem as respectivas probabilidades de permissão. Desta forma, o Algoritmo poderia ser executado na estação Base, que se encarregaria de transmitir em *broadcast* o valor atualizado de p (Eq. 6). Assim, não haveria problemas de sincronismo entre os terminais móveis e o processamento ficaria concentrado na estação Base, simplificando o circuito dos terminais.

A transmissão de p poderia ser realizada em um canal especial ou através do próprio canal BS-MS, inserida nos pacotes de confirmação, já que esta informação poderia ser concentrada em um único byte.

4. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

4.1 Ambiente de Simulação

Como mencionado no Item 3.4, considera-se para efeito de avaliação um sistema composto por uma única célula metropolitana (ambiente microcelular) com uma estação base no seu centro servindo terminais móveis que podem gerar quatro classes de tráfego: VOZ, LD (*Low Delay Data*), ATM (*células ATM*) e HD (*High Delay Data*).

A taxa de repetição dos quadros deve ser ajustada de forma a coincidir com a taxa de geração de pacotes de VOZ. Cada terminal de VOZ é simulado por meio de uma fonte ON/OFF e quando no período ativo geram pacotes de informação a uma taxa constante (CBR - *Continuous Bit Rate*).

O ambiente de simulação e o padrão de tráfego adotados foram extraídos de [KHAN96]. A Tabela 2 mostra os principais parâmetros relativos ao ambiente de simulação, enquanto que os parâmetros associados ao tráfego são mostrados na Tabela 3.

Pode-se observar por meio da Tabela 3, que o tráfego ATM requer um maior número de *slots* disponíveis para realizar uma transmissão ($N_{\text{IATM}} = 4$), o que poderia acarretar como consequência em uma maior probabilidade de bloqueio, $P_{\text{bloqueio}} = P(\text{slots livres} < 4)$. Isto poderia descaracterizar o esquema de prioridades prejudicando os terminais com tráfego ATM e refletindo em um alto retardo. Por exemplo, o retardo ATM (prioridade 2) poderia ser maior que o HD (prioridade 3). Esta situação é contornada pelo uso da fila de espera descrita anteriormente, de forma que as requisições pendentes sejam armazenadas na fila respeitando-se as prioridades. Uma requisição LD estará sempre atrás de uma requisição de VOZ e assim sucessivamente, fazendo com que um terminal HD só seja atendido se a fila de espera estiver vazia.

TABELA 2: Parâmetros do sistema

Definição	Notação	Valor
Taxa de transmissão do canal	R_{ch}	1,8 Mbits/s
Número de <i>slots</i> por quadro	N	72
Duração do quadro	F	5 ms
Duração do <i>slot</i>	τ	69,44 μs

TABELA 3: Parâmetros do tráfego considerado

Definição	Notação	Valor
VOZ		
Duração média do <i>talkspurt</i>	T_{AV}	1,0 s
Duração média do silêncio	S_{AV}	1,35 s
Taxa de geração	R_V	16 kbits/s
Prioridade	α_V	0
<i>slots</i> I por quadro	I_V	1
Retardo máximo permitido	$D_{m\acute{a}x}$	30 ms
Número de usuários	N_{VOZ}	variável
fonte LD		
Taxa média	R_{ml}	10 kbits/s
Taxa de pico	R_{pl}	50 kbits/s
<i>Burstiness</i>	B_L	5
Duração média do <i>burst</i>	L_L	200 ms (40 pacotes)
Duração média do silêncio	t_L	800 ms
Prioridade	α_{LD}	1
<i>slots</i> I por quadro	I_{LD}	2
Número de usuários	N_{LD}	10
fonte ATM		
Taxa média	R_{ma}	16,96 kbits/s
Taxa de pico	R_{pa}	84,8 kbits/s
<i>Burstiness</i>	B_A	5
Duração média do <i>burst</i>	L_A	100 ms (20 células)
Duração média do silêncio	t_A	400 ms
Prioridade	α_{ATM}	2
<i>slots</i> I por quadro	I_{ATM}	4
Número de usuários	N_{ATM}	5
fonte HD		
Taxa média	R_{mh}	5 kbits/s
Taxa de pico	R_{ph}	25 kbits/s
<i>Burstiness</i>	B_H	5
Duração média do <i>burst</i>	L_H	400 ms (80 pacotes)
Duração média do silêncio	t_H	1,6 s
Prioridade	α_{HD}	3
<i>slots</i> I por quadro	I_{HD}	1
Número de usuários	N_{HD}	25

4.2 Medidas para a Avaliação de Desempenho dos Protocolos

Neste trabalho foram escolhidas duas medidas para uma correta avaliação e comparação dos protocolos: probabilidade de descarte de pacotes (P_{drop}) e retardo médio de acesso ao canal (Delay, expresso em milissegundos).

A probabilidade de descarte de pacotes é uma importante medida de avaliação da QoS do sistema, já que a qualidade da informação de voz está diretamente ligada à quantidade de pacotes descartados, devido a retardos superiores a $D_{m\acute{a}x}$. P_{drop} é então calculada para cada protocolo pela razão entre o número de pacotes perdidos (retardo $\geq D_{m\acute{a}x}$) e o número total de pacotes gerados.

Pelo fato do protocolo ser baseado em multiplexação estatística não existe à priori um limite para o número de usuários que irão compartilhar o canal. À medida que o número de usuários aumenta o desempenho do sistema piora, ou seja, os retardos médios de acesso, a probabilidade

de descarte de pacotes e o número de pacotes em *buffer* crescem sem limites. A qualidade de serviço, QoS, imposta ao sistema será responsável na determinação destes limites.

Através de estudos no tráfego de VOZ realizados em [GRUB85] concluiu-se que as distorções causadas pelo descarte de pacotes começam a ser percebidas quando P_{drop} atinge 1%. Baseado neste valor pode-se estabelecer um limite máximo para o número de terminais de VOZ admitidos pelo sistema [CALL96] [MITR90], denotado por $M_{1\%}$. Assim, com $M_{1\%}$ terminais no sistema, $P_{drop} = 1\%$ o que garante uma qualidade mínima de serviço para o tráfego de VOZ.

Em [MITR90] e [KHAN96] são apresentados resultados também para $P_{drop} < 0,5\%$ implicando em uma melhoria na QoS mas em detrimento do número de usuários admitidos pelo sistema. Neste trabalho serão investigados três patamares para a qualidade da informação de VOZ: qualidade mínima ($P_{drop} = 1\%$), boa qualidade ($P_{drop} = 0,5\%$) e alta qualidade ($P_{drop} = 0,1\%$), com os respectivos valores para o número de terminais presentes no sistema: $M_{1\%}$, $M_{0,5\%}$ e $M_{0,1\%}$.

O retardo médio de acesso foi computado para os demais tipos de tráfego: LD, ATM e HD. Atribuindo prioridades de atendimento para cada tipo de tráfego observa-se que o retardo médio é maior para os tráfegos de menor prioridade. Esta medida é fundamental na configuração dos parâmetros do sistema permitindo uma escolha de forma a proporcionar os menores retardos.

O número de terminais de VOZ no sistema afeta não só o valor de P_{drop} como também os valores dos retardos sofridos pelos outros tipos de terminais. Assim, o limite superior para este número, $M_{máx}$, deve também levar em conta os retardos nos terminais LD, ATM e HD.

Os terminais HD por serem os de menor prioridade, são os que devem apresentar os maiores retardos e, sendo assim, estabelecendo um limite de retardo para estes terminais automaticamente os retardos sofridos pelos terminais LD e ATM também serão limitados. Em [JAF96] foi apresentando requisitos típicos para aplicações PCS e, atribuiu-se como máximos retardos permitidos para o tráfego de dados (*data traffic*) o valor de 1000ms. Em contrapartida em [CALL96], por meio do parâmetro CLT (*Cell Life Time*) este limite foi estabelecido em 500ms e será adotado neste trabalho por meio do parâmetro M_{500} , número possível de terminais respeitando este limite de retardo.

O número máximo de terminais admitidos pelo sistema, $M_{máx}$, será então obtido de forma a respeitar a mínima qualidade para o tráfego de VOZ ($P_{drop} < 1\%$) e o maior valor permitido para os retardos ($Delay_{HD} < 500ms$). Eventualmente, o sistema poderá operar com retardos superiores a 500ms ($M > M_{500}$), pois este limite não é tão bem definido como para o tráfego de VOZ e depende do tipo de aplicação em questão. Porém, na avaliação de desempenho dos protocolos, o parâmetro $M_{máx}$ será obtido conforme a descrição acima, ou seja, $M_{máx} = \text{Min}(M_{1\%}, M_{500})$.

4.3 Ferramenta de Simulação

Foi desenvolvida uma ferramenta de simulação para se avaliar o desempenho deste protocolo e permitir uma escolha adequada para os parâmetros: PF e N_R . A ferramenta utiliza uma estrutura modular que permite sua fácil expansão à medida que novas funções se fazem necessárias.

Para cada configuração foi realizada uma rodada de simulação com 1000 segundos de duração (tempo de simulação), o que corresponde a 14.400.000 *slots*.

Cada terminal foi representado por uma fonte de tráfego de dois estados como mostra a Figura 2. Os pacotes são gerados apenas durante o período ativo da fonte (ON), de acordo com a taxa de geração de pacotes dada pela Tabela 3 para cada tipo de tráfego. Para os terminais de VOZ esta taxa é fixa, o que caracteriza este tráfego como sendo CBR (*Continuous Bit Rate*).

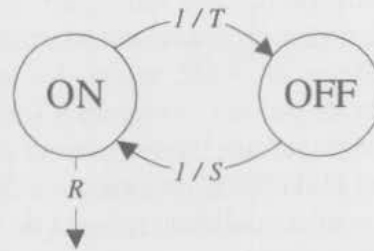


Figura 2. Diagrama da fonte de dois estados (ON/OFF)

De acordo com a Tabela 3:

- $T \rightarrow T_{AV} \text{ (VOZ)}, L_L \text{ (LD)}, L_A \text{ (ATM)}, L_H \text{ (HD)}$;
- $S \rightarrow S_{AV} \text{ (VOZ)}, t_L \text{ (LD)}, t_A \text{ (ATM)}, t_H \text{ (HD)}$;
- $R \rightarrow R_V \text{ (VOZ)}, R_{ml} \text{ (LD)}, R_{ma} \text{ (ATM)}, R_{mh} \text{ (HD)}$.

4.4 Análise de Resultados

O número de terminais com tráfego de VOZ foi variado, permitindo submeter o sistema a diferentes cargas de entrada. O número de terminais LD, ATM e HD foi mantido constante de acordo com a Tabela 3. Os resultados são apresentados de forma que cada gráfico retrate o desempenho do protocolo para um tipo de tráfego, assim, a Figura 3 mostra P_{drop} para o tráfego de VOZ, a Figura 4 Delay(ms) para o tráfego LD, a Figura 5 Delay(ms) para ATM e a Figura 6 Delay(ms) para HD.

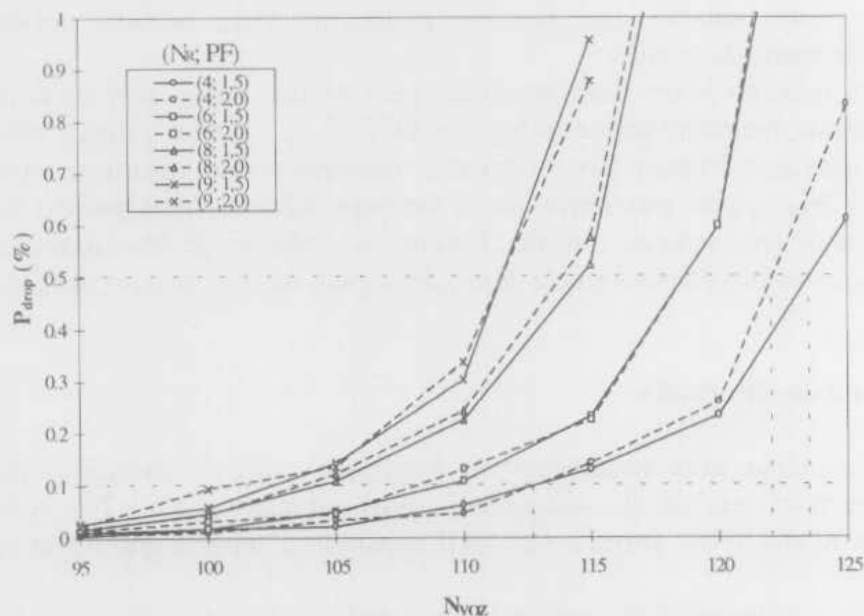


Figura 3. $P_{drop} \times N_{VOZ}$ (DPMA)

Os parâmetros N_R e PF também foram variados o que permitiu a determinação da configuração de melhor desempenho para o sistema em questão.

Pode-se observar na Figura 3 (tráfego de VOZ) a presença de linhas horizontais representando os três patamares de qualidade para este tráfego e indicando os limites para $M_{0,1\%}$, $M_{0,5\%}$ e $M_{1\%}$. Os valores exatos para estes três parâmetros, assim como para M_{500} , foram obtidos por meio de simulações adicionais não mostradas nos gráficos.

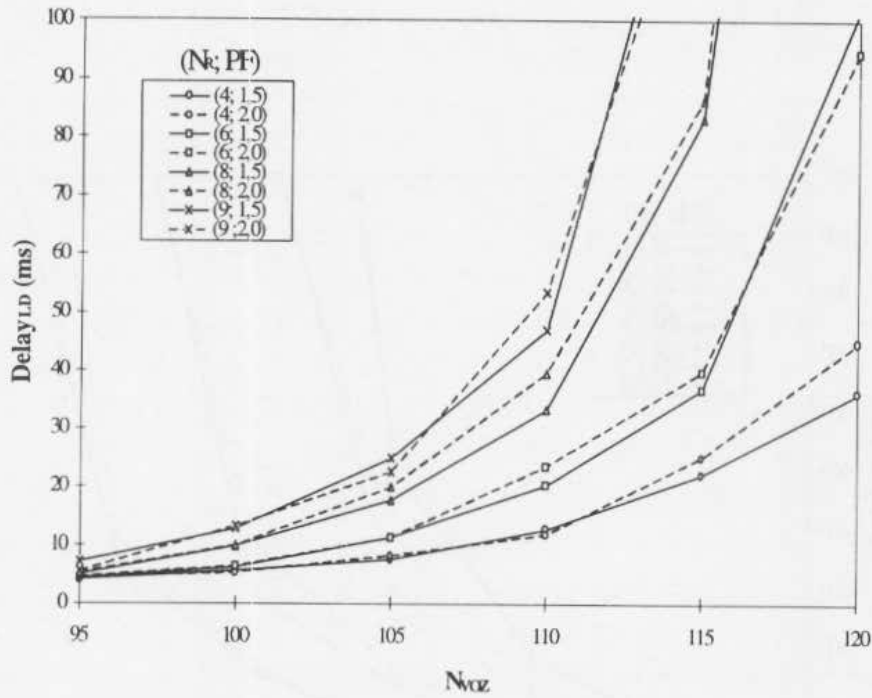


Figura 4. Delay_LD (ms) x N_{VOZ} (DPMA)

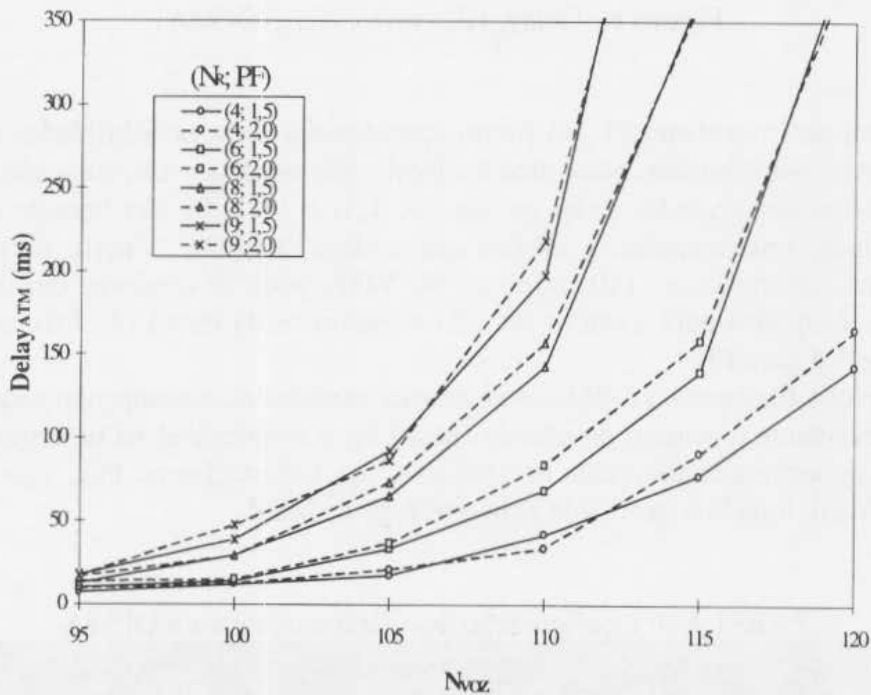


Figura 5. Delay_ATM (ms) x N_{VOZ} (DPMA)

Nitidamente pela análise dos quatro gráficos (Figuras 3 até 6) não há nenhuma vantagem em se fazer N_R maior do que 6. Por outro lado, apesar de não estarem presentes nas figuras resultados para N_R menores que 4, verificou-se que são impraticáveis e levam o sistema a congestão. Assim uma escolha natural seria $N_R = 4$, já que, apresentou um melhor desempenho para o sistema para todos os quatro tipos de tráfego.

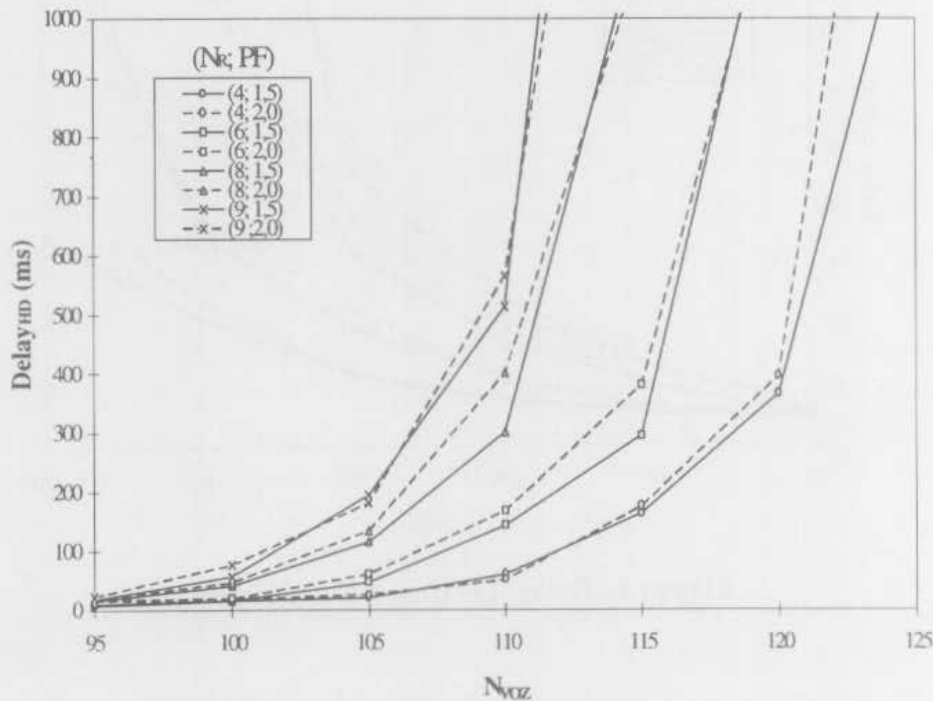


Figura 6. Delay_{HD} (ms) x N_{VOZ} (DPMA)

Para o Fator de Prioridade, PF, só foram apresentadas duas possibilidades 1,5 e 2, já que outros valores não contribuíram para uma melhoria nas medidas. Em uma situação de baixa carga os resultados apresentados pelas curvas (4; 1,5) e (4; 2,0) são bem próximos tendo a vantagem alternada constantemente à medida que a carga aumenta. A partir do momento que a carga no sistema ultrapassa os 110 terminais de VOZ, pode-se observar em todos os quatro gráficos que os resultados para a curva (4; 1,5) superam os da curva (4; 2,0), o que permite a escolha do valor 1,5 para PF.

A configuração final para o DPMA e as demais medidas de desempenho estão apresentadas na Tabela 4. Novamente o critério de retardo (M_{500}) foi o responsável na determinação do limite para o número de terminais admitidos no sistema ($M_{m\acute{a}x}$), desta forma P_{drop} não irá ultrapassar 0,5% implicando em uma boa qualidade para o tráfego de VOZ.

TABELA 4: Configuração dos parâmetros para o DPMA

Protocolo DPMA		
Definição	Notação	Valor
número de slots R por quadro	N_R	4
probabilidade de permissão	p	variável
fator de prioridade	PF	1,5
nº máx de term. c/ $P_{drop} < 0,1\%$	$M_{0,1\%}$	113
nº máx de term. c/ $P_{drop} < 0,5\%$	$M_{0,5\%}$	123
nº máx de term. c/ $P_{drop} < 1\%$	$M_{1\%}$	127
nº máx de term. Delay < 500ms	M_{500}	121
no máx de term. Admitidos	$M_{m\acute{a}x}$	121

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto um protocolo de múltiplo acesso com a finalidade de servir ao tráfego multimídia em um ambiente de redes de comunicação celulares. Outros esquemas de prioridades poderiam ter sido considerados desde que se respeitasse a condição, $\alpha_V \leq \alpha_{LD} \leq \alpha_{ATM} \leq \alpha_{HD}$. Isto reflete em uma grande flexibilidade de configuração dos parâmetros a fim de se atender aos requisitos de QoS.

O Esquema poderia também ser usado para dar prioridade para um determinado terminal, ou grupo de terminais, sobre todos os demais, ex.: Terminal A prioridade 0, $\alpha_A = 0$, e todos os demais prioridade 1, $\alpha = 1$.

Através da análise dos gráficos de P_{drop} e Retardo médio de acesso pode-se concluir que o melhor desempenho para este sistema foi alcançado quando $NR = 4$, embora que para $NR = 6$ os resultados também foram bons.

O algoritmo utilizado, além de estimar o número de terminais em contenção, busca também maximizar o *throughput* resultando em um número reduzido de colisões e levando o sistema a estabilidade. Este algoritmo foi baseado em uma extensão do algoritmo Pseudo-Bayesiano [RIVE87] que de acordo com o nosso conhecimento ainda não havia sido publicado. Outros procedimentos poderão ser investigados com o objetivo de se obter uma estimativa mais precisa do número de terminais em contenção, proporcionando assim o desenvolvimento de um protocolo de melhor desempenho.

Considerações relativas ao efeito captura constituem também objeto de trabalho futuro.

APÊNDICE

Considerando a estrutura de *slots* do protocolo S-ALOHA, pode-se definir N_t como o número de estações ativas no sistema antes do início do *slot* t . Sendo b_t a probabilidade de *broadcast* (probabilidade de permissão) para todos os terminais neste instante de tempo, um dos três eventos necessariamente irá ocorrer no *slot* t : sucesso, colisão ou *slot* livre. Supondo que N_t seja conhecido, isto é, $N_t = n$, pode-se obter as seguintes probabilidades em função de n :

$$P(\text{slot livre} / N_t = n) = H_{b_t}(n) = (1 - b_t)^n \quad (8)$$

$$P(\text{sucesso} / N_t = n) = S_{b_t}(n) = n \cdot b_t \cdot (1 - b_t)^{n-1} \quad (9)$$

$$P(\text{colisão} / N_t = n) = C_{b_t}(n) = 1 - H_{b_t}(n) - S_{b_t}(n) \quad (10)$$

$$\text{O valor ótimo para } b_t \text{ é então aquele que maximiza } S_{b_t}(n): \quad b_t = 1 / N_t \quad (11)$$

Entretanto, o valor de N_t não é conhecido e será estimado através dos eventos ocorridos nos *slots* anteriores até o instante t . Para cada instante t pode-se definir um vetor de probabilidades π_t , ou seja, a densidade de probabilidade da variável aleatória N_t :

$$\pi_t = (p_{0,t}; p_{1,t}; p_{2,t}; \dots; p_{k,t}; \dots) \quad (12)$$

onde,

$$p_{n,t} = \text{Prob.}(N_t = n); \quad \text{para } n = 0, \dots \quad (13)$$

O valor inicial para π_t é dado por $\pi_0 = (1; 0; 0; \dots)$ significando que no início todas as estações estão inativas. O valor de π_t é então atualizado a cada passo usando a regra de Bayes, a informação de *feedback* (sucesso, colisão ou *slot* livre) e a contribuição das novas chegadas (novos pacotes que entram no sistema) e partidas do sistema (no caso de sucesso).

Da mesma forma que anteriormente, b_t deve ser calculado afim de maximizar as chances de sucesso em um dado instante t . Devido a incerteza no valor de N_t faz-se uso da seguinte equação em função de π_t :

$$E\{ P(\text{sucesso no instante } t) \} = \sum_n p_{n,t} \cdot S_{b_t}(n) \quad (14)$$

Dado o vetor π_t , a equação (14) é toda em função do parâmetro b_t e, o valor de b_t que maximiza esta equação irá conseqüentemente maximizar a probabilidade da ocorrência de um sucesso. Assim, b_t é calculado a cada *slot* através de diferenciações da equação (14) na busca pelo(s) máximo(s) global(is), o que completa a descrição geral da técnica *Bayesian broadcast*.

O trabalho de se encontrar o(s) máximo(s) do polinômio em b_t resultante da equação (14) requer muitas vezes um esforço computacional muito grande, o que motivou a busca por aproximações e simplificações.

O algoritmo Pseudo-Bayesiano surge através da aproximação do vetor π_t por uma distribuição de Poisson de média v . O valor de v a cada instante t representa a estimação do valor de N_t (valor esperado de N_t). Por meio da distribuição de Poisson:

$$P_v(n) = \frac{e^{-v} \cdot v^n}{n!} \quad (15)$$

não é mais necessário lidar com o vetor p_t , bastando agora apenas o armazenamento do valor de v . A probabilidade $p_{n,t}$ é desta forma aproximada pelo valor de $P_v(n)$.

Pela regra de Bayes:

$$P(H/E) = \frac{P(E/H) \cdot P(H)}{P(E)} \quad (16)$$

onde, H é a hipótese de que $N_t = n$ e E é o evento sucesso, colisão ou *slot* livre. As equações (8), (9) e (10) fornecem $P(E/H)$, enquanto que $P(H/E)$ resultará no novo valor de $P(H)$ após a ocorrência do evento. Assim, a atualização de $P(H)$ ocorrerá a cada *slot* e deverá ainda acrescentar a informação do fluxo de pacotes (pacotes que entram e saem do sistema).

Na aproximação proposta pelo algoritmo $P(H)$ é uma distribuição de Poisson sendo atualizada a cada evento (a cada *slot*) pela regra de Bayes, gerando as seguintes probabilidades finais não normalizadas:

$$P_v(n) \cdot H_{b_t}(n) = e^{-v b_t} \cdot P_{v w_t}(n) \quad (17)$$

$$P_v(n) \cdot S_{b_t}(n) = v \cdot b_t \cdot e^{v b_t} \cdot P_{v w_t}(n-1) \quad (18)$$

$$P_v(n) \cdot C_{b_t}(n) = P_v(n) \cdot (1 - H_{b_t}(n) - S_{b_t}(n)) \quad (19)$$

onde, $w_t = 1 - b_t$

Substituindo (17) em (13) e maximizando a probabilidade de sucesso, tem-se:

$$b_t = \text{MIN}(1/v, 1) \quad (20)$$

No caso da ocorrência de um *slot* livre, a atualização Bayesiana (Eq. 17) gera uma distribuição de Poisson de média $v w_t$. Pela Eq. (14), $w_t = \text{MAX}(1 - 1/v, 0)$ e, a média $v w_t = \text{MAX}(v-1, 0)$. Isso significa que na ocorrência de um *slot* vazio, o número esperado de estações ativas deve ser reduzido de uma unidade, ao menos que v já seja menor que 1, neste caso v é atualizado para o valor zero.

Pela equação (18), no caso de um sucesso, a distribuição resultante também é Poisson, com média $v - 1$ e deslocada de uma unidade para a direita. Entretanto, o efeito de se modelar um sucesso na transmissão desloca a distribuição em uma unidade para a esquerda, o que mantém a suposição de Poisson válida. Para a atualização basta então decrementar a média anterior de uma unidade.

No caso de uma colisão, a regra de Bayes (Eq. 19) não irá resultar em uma distribuição de Poisson (daí o nome pseudo-Bayesiano). Entretanto, o resultado será aproximado por uma distribuição de Poisson, considerando v a média anterior desta distribuição, o novo valor desta média dado por (19) é:

$$v + \frac{x^2}{e^x - x - 1} \quad (21)$$

onde, $x = v \cdot b_t$. A equação (21) se simplifica no caso de $v \geq 1$, $b_t = 1/v$ para:

$$v + \frac{1}{e-2} \quad (22)$$

Para $v \leq 1$, a eq. (22) pode ser aproximada para o valor 2,399221. Esta última aproximação é equivalente a considerar $v \geq 1$ para todos os instantes de tempo. A seguir as três etapas que compõem o algoritmo tal qual em [RIVE87], devendo ser executadas a cada *slot* pelas estações:

- transmitir com probabilidade $1/v$ se estiver ativa
- decrementar o valor de v por 1 se houver um sucesso ou se o *slot* passar livre, e incrementar v por $(e-2)^{-1}$ em caso de colisão.
- fazer v igual a $\text{MAX}(v + \lambda, 1)$, onde λ é a taxa média de chegada de novos pacotes ao sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [BERT92] BERTSEKAS, D. & GALLAGER, R. - "Data Networks", segunda edição, Prentice Hall, 1992
- [BURR96] BURREL, A. et al. - "Traffic Monitoring and Dynamic Multiplexing Techniques for ATM Wireless Networks", *ICUPC'96*, pp. 270-274, 1996.
- [CALL96] CALLEGATI, F. et al. - "Analysis of CSMA/CA Protocol for Wireless Networking of ATM Multiservice Applications", *ICUPC'96*, 1996.
- [ENOM96] ENOMOTO, K. et al. - "Performance of Inhibit Sense Multiple Access for Prioritized Traffic", *ICUPC'96*, 1996.
- [EPST95] EPSTEIN, B. & SCHWARTZ, M. - "Reservation Strategies for Multi-Media in a Wireless Environment", *VTC'95*, 1995.
- [GOOD91] GOODMAN, D. et al. - "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 40, Número 1, Fevereiro 1991.
- [GRUB85] GRUBER, J. & STRAWCZYNSKI, L. - "Subjective Effects of Variable Delay and Speech Clipping in Dynamically Managed Voice Systems", *IEEE Transactions on Communications*, Volume COM-33, pp. 801 - 808, Agosto de 1985.
- [JAF96] JAFARIAN, B. & AGHVAMI, A. H. - "Performance of Multiservice Dynamic Reservation (MDR) TDMA for Multimedia Wireless Networks", *ICUPC'96*, pp. 291-294, 1996.
- [KHAN96] KHAN, F. & ZEGHLACHE, D. - "Priority-Based Multiple Access (PBMA) for Statistical Multiplexing of Multiple Services in Wireless PCS", Institut National des Télécommunications, *ICUPC'96*, 1996.
- [MEYE86] MEYER, P. L. - "Probabilidade Aplicações à Estatística", segunda edição, Livraria Kosmos Editora LTDA., 1984.
- [MITR90] MITROU, N. M. et al. - "A Reservation Multiple Access Protocol for Microcellular Mobile-Communication Systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 39, Número 4, Novembro 1990.
- [NAND91] NANDA, S. et al. - "Performance of PRMA: A Packet Voice Protocol for Cellular Systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 40, Número 3, Agosto 1991.
- [NAND94] NANDA, S. - "Stability Evaluation and Design of the PRMA Joint Voice Data System", *IEEE Transactions on Communications*, Volume 42, Número 5, Maio de 1994.
- [RIVE87] RIVEST, R. L. - "Network Control by Bayesian Broadcast", *IEEE Transactions on Information Theory*, Volume IT-33, Número 3, Maio de 1987.
- [SALL98] SALLES, R. M. - "Protocolos de Múltiplo Acesso para Redes Sem Fio", Dissertação de Mestrado defendida no Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, janeiro de 1998.
- [TANE96] TANENBAUM, A. S. - "Computer Networks", Prentice Hall 1996, 3ª edição.
- [YACO93] YACOB, M. - "Fundamentals of Mobile Radio Engineering", CRC Press, 1993.
- [ZHUA95] ZHUANG, W. - "Medium Access Control for Multimedia Wireless Networks", *PIMRC'95*, 1995.