

Estudo de Desempenho do Sistema 1xEV-DO com Prioridades de Serviços na Interface Aérea

Hugo Swart, Shusaburo Motoyama

DT - FEEC - UNICAMP
Caixa Postal 6101- 13083-970 – Campinas – SP – Brasil
hswart,motoyama@dt.fee.unicamp.br

Resumo—Neste artigo é apresentado um estudo de desempenho do sistema 1xEV-DO com prioridades de serviços na interface aérea. Através da introdução de um escalonador de prioridades simples, o sistema 1xEV-DO é estudado por simulação em relação à vazão de saída, ao atraso de espera dos pacotes e à utilização do enlace.

Abstract—In this article a performance study of the 1xEV-DO system considering service priority at the air interface is presented. Through the introduction of a simple priority scheduler, the 1xEV-DO system is studied by simulation in relation to the output throughput, packet delay and link utilization.

I. INTRODUÇÃO

A grande disseminação em todo o mundo de telefonia celular e sua infra-estrutura de transmissão instalada estão possibilitando o atendimento de demanda de acesso sem-fio à internet, a rede mundial de computadores. A tecnologia de comunicação sem-fio 1xEV-DO (1x Evolution – Data Optimized) foi desenvolvida para atender esta necessidade. Ela é um produto da evolução do padrão CDMA (Code Division Multiple Access) e permite velocidades de transmissão de até 2,45 Mbps por setor de uma célula em uma portadora de largura de banda de 1.25MHz dedicada a dados comutados a pacote.

O sistema 1xEV-DO tem características bastante adequadas para transmissão de dados e está sendo objeto de intensa pesquisa [2], [3], [4] e [5]. A maioria dos trabalhos apresentados na literatura estuda o sistema 1xEV-DO sob o ponto de vista de desempenho da vazão. Em [2] é mostrado que a regra de alocação de slots é o principal fator que afeta a vazão do sistema. Em [4], o desempenho de vazão é analisado sob vários fatores como área de cobertura de célula e o atraso de acesso. O desempenho da vazão quando é introduzido um controle de acesso de usuários à portadora, é investigado em [5]. Uma forma escalonamento onde se dá prioridade de transmissão para usuários em melhores condições de RF e que otimiza a vazão é proposta e analisada em [3].

Neste artigo, é estudado o desempenho da vazão do sistema 1x EV-DO sob o ponto de vista de prover qualidade de serviço (QoS) para usuários com diferentes necessidades e

aplicações. Em qualquer tecnologia de comunicação sem-fio que permite o tráfego de dados, a garantia de banda é algo difícil de se alcançar, pois a qualidade do sinal de RF varia muito e condições de sinal piores não permitem atingir-se as taxas máximas possíveis. A priorização de tráfego poderá amenizar as diferenças entre usuários ou aplicações, satisfazendo as expectativas dos usuários.

Na seção 2 é apresentado o sistema 1xEV-DO. Na seção 3 é proposto o modelo do sistema para simulação. A apresentação de resultados de simulação e suas análises são feitas na seção 4. Finalmente, na seção 5 são apresentadas as principais conclusões.

II. O SISTEMA 1xEV-DO

O sistema 1xEV-DO provê para terminais sem-fio, através de radiofrequência, a transmissão de dados com picos de 2.4 Mbps de velocidade instantânea no enlace direto (estação base para terminal), e até 153 kbps no enlace reverso (terminal para estação base). As altas taxas são obtidas no enlace direto com uma maximização da potência da estação base para um usuário em cada instante de tempo e utilizando técnica de modulação 16QAM. O canal segue a codificação típica de técnica CDMA. Assim, pode-se resumir o 1xEV-DO em um sistema de técnicas combinadas de TDMA (Time Division Multiple Access) e CDMA. Cada TS (*Time-slot*) do enlace direto tem duração fixa de 1,667ms e um quadro determinado por 16 TSs.

Com a degradação do sinal de RF, a taxa máxima não é possível de ser fornecida havendo uma queda gradual com a queda do sinal e em casos extremos chega-se a um mínimo de 38,7 kbps, conforme exemplificado na Fig.2.1.

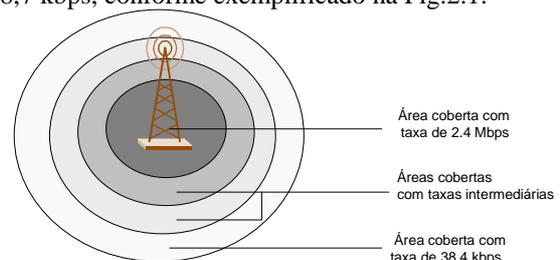


Fig. 1. Distribuição das taxas de transmissão do sistema 1xEV-DO.

O padrão da tecnologia [1] define as taxas que devem ser fornecidas pelo sistema para cada nível de potência do sinal de forma a não degradar a qualidade da informação recebida pelo terminal através de diferentes formas de modulação do sinal (16QAM, 8PSK e QPSK). Para balancear o desempenho entre usuários, a alocação de quantidade de TSs entre usuários não é uniforme, assim usuários com taxas mais baixas terão mais TSs disponíveis. O número de TSs, a modulação e o tamanho do pacote para cada taxa estão definidos no padrão [1] e reproduzido na Tab. 2.1.

Tabela 2.1. Configurações do enlace direto para o sistema 1xEV-DO.

Taxas (kbps)	38	76	153	307	614	921	1228	1843	2458
Bits / Pacote	1024	1024	1024	1024	1024	3072	2048	3072	4096
Time Slots	16	8	4	2	1	2	1	1	1
Modulação	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	8PSK	QPSK	8PSK	16QAM

Do ponto de vista de desempenho para o usuário final, os fatores que mais influenciam o sistema 1xEV-DO são:

- Intensidade de tráfego (número de usuários acessando a rede e vazão média de cada um), uma vez que os TSs serão compartilhados.
- Raio da célula (células menores permitem um sinal de rádio melhor).

III. MODELO DE SIMULAÇÃO

A fim de se verificar o desempenho do sistema 1xEV-DO com a utilização de priorização de tráfego, foi simulada através da ferramenta Q+ desenvolvida pelo Bell Labs da Lucent Technologies, uma rede com os parâmetros do 1xEV-DO para o enlace direto, adicionando quatro filas ao invés de fila única do modelo atual. Os índices de desempenho tomados como mais importantes neste estudo são: atraso médio dos pacotes, vazão de saída e fator de utilização do sistema. As medidas foram feitas para cada fila e também a média do sistema considerando as quatro filas.

As seguintes suposições são adotadas para a simulação. O escalonador é baseado em prioridade sem preempção. Os pacotes de maior prioridade são atendidos em primeiro lugar; somente quando a fila de maior prioridade ficar vazia é que a fila de prioridade seguinte é atendida. Somente o tráfego referente ao enlace direto é investigado. O buffer de cada fila tem tamanho infinito. Os pacotes são armazenados no esquema FIFO (First In First Out) em cada fila. A chegada de pacotes obedece a uma distribuição exponencial. O tempo de serviço ($1/\mu$) é igual à duração do número de TSs que cada região de cobertura tem (por exemplo, a região de 38 kbps tem $1/\mu$ de 26,67 ms). As classes de taxa de transmissão determinadas pela cobertura de RF são denominadas de A a I de forma a facilitar a referência às mesmas (A é utilizada para classe de 38 kbps e I para a de 2,4 Mbps).

Como *default* o tráfego de pacotes foi dividido em prioridades obedecendo à proporção da Tab. 3.1.

O número de usuários na célula é denominado genericamente de N. Foi tomado como *default* o número

N=20. As classes de cobertura são divididas nas proporções (Pc), conforme a tabela 3.2.

Tabela 3.1. Distribuição *default* das prioridades (Pr).

Prioridade	Probabilidade (Pr)
1	10%
2	25%
3	30%
4	35%

Tabela 3.2. Proporção *default* de classes de cobertura e respectivas taxas

Classe	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Taxa (kbps)	38	76	153	307	614	921	1228	1843	2458
Pc	2%	3%	8%	18%	23%	17%	15%	10%	4%

A vazão média demandada por usuário é denominada Ru e o valor *default* foi considerado de Ru = 17 kbps. Ru é a média de vazão entre instantes de atividade e de inatividade (leitura de um web site por exemplo). Para se calcular a taxa média de pacotes (λ) de cada classe de cada prioridade é utilizada a seguinte expressão:

$$\lambda_x = \frac{N \cdot Pr \cdot Pc \cdot R_u}{T_c} \quad (3.1)$$

Onde N, Pc, Pr e Ru são parâmetros definidos anteriormente e Tc é o comprimento de pacote em bits de cada classe de cobertura.

As simulações foram feitas variando os parâmetros referenciados acima. Assim, foram simulados três cenários bem como os mesmos parâmetros para o modelo sem prioridade.

Cenário 1: Variação do número de usuários.

Alterando-se o número de usuários, muda-se o valor de λ conforme Eq.3.1. Foram simulados 5 valores: 5 usuários, 10 usuários, 15 usuários, 20 usuários e 25 usuários.

Cenário 2: Variação do tamanho da célula.

Sabe-se que uma alteração no tamanho ou morfologia da célula acarreta em características de propagação diferentes e conseqüentemente alterando também a distribuição das taxas. A Tab.3.3 mostra as distribuições adotadas para uma célula pequena, uma média e outra grande.

Tabela 3.3. Distribuição de classes para diferentes tamanhos de células

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Taxa (kbps)	38	76	153	307	614	921	1228	1843	2458
Pequena	1%	1%	4%	8%	11%	24%	19%	18%	14%
Média	2%	3%	8%	18%	23%	17%	15%	10%	4%
Grande	5%	7%	19%	25%	18%	13%	8%	3%	2%

Cenário 3: Variação da distribuição de prioridades.

Foi alterada a distribuição das prioridades para se verificar o impacto no desempenho. As distribuições escolhidas são mostradas na Tab.3.4.

Tabela 3.4. Distribuição de classes para diferentes tamanhos de células

	P 1	P 2	P 3	P 4
10/25/30/35	10%	25%	20%	35%
25/25/25/25	25%	25%	25%	25%
25/30/30/10	25%	30%	30%	15%
60/20/10/10	60%	20%	10%	10%
50/50/0/0	50%	50%	0%	0%

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nas simulações para os diferentes cenários estão mostrados em gráficos e tabelas. Nos gráficos de vazão, R Px indica a vazão observada para cada fila de prioridade, R TP div 2 indica a curva para a vazão total de todas as filas dividido por 2 e R SP div 2, a vazão para a simulação sem prioridade também dividida por 2. Nos gráficos de atraso médio de pacotes, D Px indica o atraso observado para cada fila de prioridade. D SP e D TP indicam o atraso médio total sem prioridade e com prioridade, respectivamente. Nos gráficos de utilização do enlace, U SP e U CP indicam as utilizações sem prioridade e com prioridade, respectivamente.

Cenário 1: Variação do número de usuários.

A Fig.4.1 mostra o resultado da simulação para a vazão quando se varia o número de usuários.

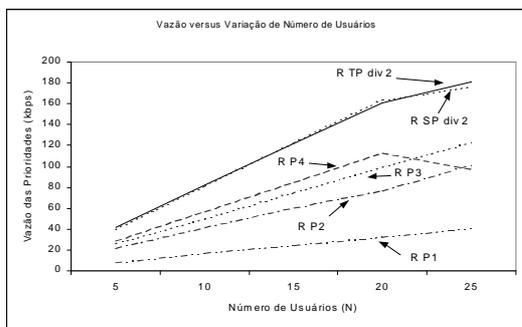


Figura 4.1. Gráfico da Vazão em função de número de usuários para cenário 1.

Observa-se que aumentando o número de usuários e conseqüentemente o λ , a vazão total do sistema cresce na mesma proporção até o número de 20 usuários. Na simulação com 25 usuários, observou-se que a taxa de chegada de pacotes foi maior do que a capacidade de tratamento do sistema, assim o crescimento da vazão não foi proporcional, uma vez que foi limitada. Esta limitação foi observada somente para os pacotes da prioridade 4, assim a vazão dos demais não sofreu decréscimo. Desta forma, pacotes com maior prioridade não foram deixados de ser atendidos,

somente os considerados de baixa prioridade tiveram pacotes não atendidos.

Já o atraso, como mostra a Fig.4.2, foi sensivelmente diferente para as prioridades nas simulações com muitos usuários (alta utilização do sistema). Com poucos usuários (5 e 10) os atrasos observados não foram tão dispares entre as prioridades, sendo que a utilização de priorização de tráfego não traria grandes benefícios para maioria das aplicações. Mas com o aumento do número dos usuários, a priorização se mostrou fundamental. Com 20 usuários o atraso de pacotes da prioridade 4 aproximou-se de 1s, enquanto que o atraso da prioridade 1 permaneceu próximo a da observada com poucos usuários (poucos ms, que na maioria das aplicações não acarreta em perda de qualidade). Quando da não utilização de prioridade, para 20 usuários houve um atraso médio de 75 ms que poderia causar baixa performance dependendo do serviço, enquanto que a prioridade 1 teve apenas 9 ms de atraso.

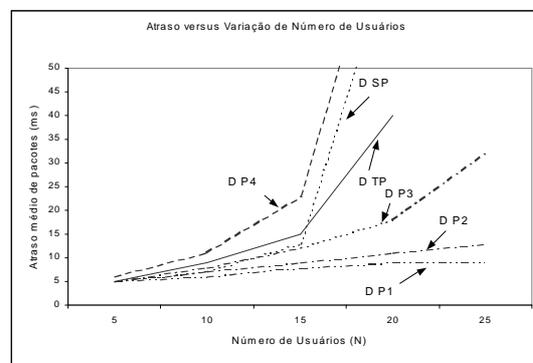


Figura 4.2. Gráfico de atraso médio de pacotes em função do número de usuários para cenário 1.

Assim, percebe-se que a priorização do tráfego tornou-se vantajosa principalmente para condições em que há alta utilização do sistema. Esta é normalmente a condição de uma rede comercial, sendo que o interesse financeiro é sempre utilizar ao máximo seus investimentos. Mas o sistema, mesmo se dimensionado para poucos usuários por célula, pode e provavelmente irá apresentar situações com muitos usuários por célula, devido a mobilidade dos mesmos, sendo que não é possível prever com exatidão qual o número de terminais que estarão usufruindo a rede. Desta forma, a utilização de um escalonador de prioridades amenizaria o impacto das situações onde muitos terminais móveis se locomovem para uma mesma célula.

A Fig.4.3 mostra a utilização do sistema em relação ao número de usuários. A utilização do sistema cresce linearmente com o aumento de número de usuários até 20 usuários. Acima de 20 usuários, o sistema entra em saturação aproximando de 100% de utilização.

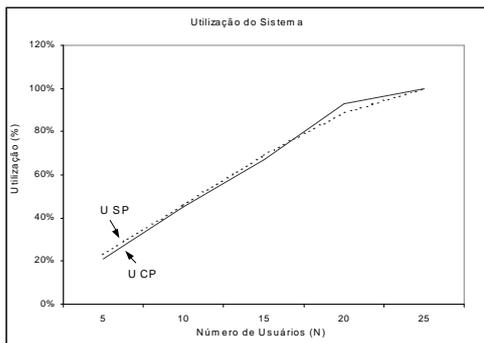


Figura 4.3 Gráfico de utilização do sistema em função de número de usuários para Cenário 1.

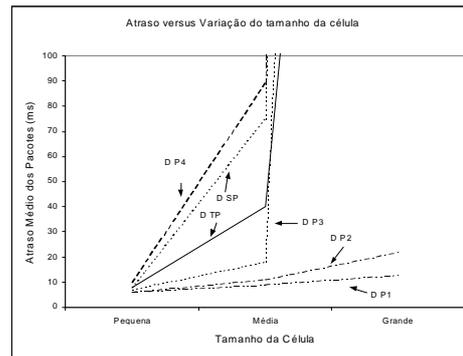


Figura 4.5. Gráfico de atraso médio de pacotes em função do tamanho da célula para cenário 2.

Cenário 2: Variação do tamanho da célula.

As Figs. 4.4, 4.5 e 4.6 mostram os gráficos da vazão, do atraso médio de pacotes e da utilização, respectivamente, quando se leva em conta o tamanho da célula. Com o aumento do tamanho da célula, observou-se que a ocupação do sistema foi ficando maior, uma vez que a proporção de usuários em classes de taxas mais baixa aumenta e como estas tem tempo de serviço maior por pacote, acarretou em congestionamento do servidor.

Assim, a priorização do tráfego se mostrou mais importante neste tipo de célula. Enquanto que em células pequenas a necessidade não se mostrou essencial, tendo em vista que as taxas mais altas obtidas nestas condições têm menor tempo de serviço por pacote.

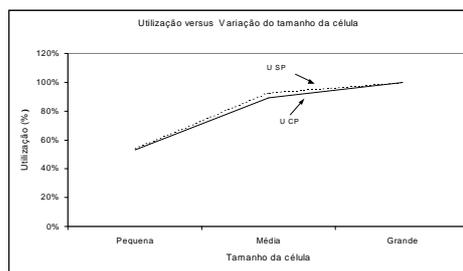


Figura 4.6. Gráfico da utilização em função do tamanho da célula para cenário 2.

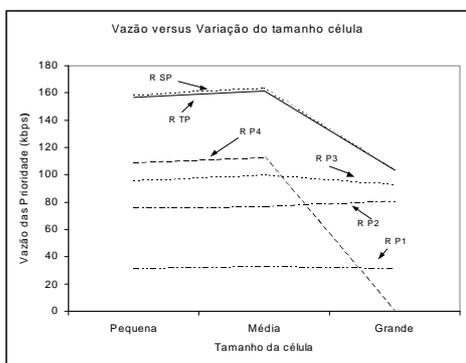


Figura 4.4. Gráfico da vazão em função do tamanho da célula para cenário 2.

Passando de uma célula pequena para uma grande, o grau de ocupação passou de 53% para 100% e neste último caso a fila aumentou constantemente, fazendo com que o atraso médio também aumentasse e os pacotes da prioridade 4 não fossem tratados.

Cenário 3: Variação da distribuição de prioridades.

As Tabs. 4.1, 4.2 e 4.3 mostram a vazão, o atraso médio de pacotes e a utilização, respectivamente, quando se leva em conta a variação da distribuição de prioridades. Como era de se esperar a vazão não sofreu conseqüências com a alteração de distribuição de prioridades, mantendo o valor total e somente re-distribuindo a vazão para cada prioridade proporcionalmente.

Mesmo crescendo a porcentagem de participação da prioridade 1, os atrasos sofridos pelos pacotes desta prioridade não foram severamente afetados. Por exemplo, na simulação 60/20/10/10 a prioridade 1 apresentou atraso de 14 ms que ainda não é crítico para maioria das aplicações. Porém, observou-se um aumento do atraso médio do sistema com o aumento das prioridades mais altas.

Outro ponto interessante, foi que a utilização de apenas 2 filas com prioridades distintas (50/50/0/0) já trouxe melhora significativa para o atraso da mais alta prioridade, pois comparando com a 100/0/0/0 que apresentou atraso médio de 75 ms, a primeira prioridade teve apenas 12 ms. Assim, caso o processamento adicional necessário para implementação de muitas filas no sistema fosse grande, mostrou-se que mesmo a divisão dos pacotes em duas prioridades com distribuição homogênea, trouxe uma melhora significativa para a prioridade mais alta.

Tabela 4.1. Vazão (em kbps) para variação da distribuição de prioridades

	RT	RP	RP	RP	RP
10/25/30/3	323	33	77	100	113
25/25/25/2	323	83	81	80	79
25/30/30/1	324	81	97	97	49
60/20/10/1	322	194	66	30	32
50/50/0/0	323	83	81	80	79
100/0/0/0	328				

Tabela 4.2. Atraso médio (em ms) para variação da distribuição de prioridades.

	DT	DP1	DP2	DP3	DP4
10/25/30/35	40	9	11	18	89
25/25/25/25	47	10	14	27	142
25/30/30/10	53	10	15	42	223
60/20/10/10	70	14	46	139	395
50/50/0/0	53	12	93	0	0
100/0/0/0	75				

Tabela 4.3. Utilização do sistema para variação da distribuição de prioridades.

	Ocupação do Sistema
10/25/30/35	89%
25/25/25/25	90%
25/30/30/10	91%
60/20/10/10	92%
50/50/0/0	90%
100/0/0/0	93%

V. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado o estudo de desempenho do sistema 1xEV-DO com prioridades de serviços na interface aérea. O escalonador de prioridades utilizado no estudo é bastante simples e permite a sua implementação em sistemas de terceira geração de telefonia celular de maneira bastante fácil.

O estudo mostrou que o sistema 1xEV-DO é capaz de prover altas taxas de dados, porém caso não haja tratamento diferenciado para aplicações e usuários pode haver frustração com serviço devido ao alto atraso médio dos pacotes observado em sistemas sem utilização de prioridades.

O esquema de prioridades adotado no estudo mostrou-se essencial em condições de alta utilização do sistema, como no caso de muitos usuários ou no caso de alta taxa de chegada de pacotes.

Referências

- [1] TIA/EIA/IS-856 "CDMA2000, High Rate Packet Data Air Interface Specification"
- [2] P. Bender, P. Black, M. Grob, R. Padovani, N. Sindhushayana, and A. Viterbi "CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users", IEEE Communications Magazine, pp.70-78, vol.38, July 2000
- [3] A.Jalali, R. Padovani and R. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency high-

rate personal communication wireless system", IEEE Vehicular Technology Conference, Tokyo, May 2000

- [4] W. Chung, H. Lee, J. Moon "Downlink Capacity of CDMA/HDR", IEEE Vehicular Technology Conference, VTC 2001, Spring, pp. 1937-1941, 2001
- [5] Q. Bi and S. Vitebsky, "Performance Analysis of 3G-1X EVDO High Data Rate System", Wireless Communications and Networking Conference, 2002. 2002 IEEE, vol.1, Mar2002, pp: 389 -395