

# Uma Estratégia de Escalonamento de Piconets Bluetooth usando Estimação de Estado de Canal

João H. Kleinschmidt, Marcelo E. Pellenz e Sandro A. Fasolo

**Resumo** — Os dispositivos de redes locais sem fio (WLAN) compartilham a mesma banda de frequências (ISM) dos dispositivos Bluetooth, podendo causar interferência se estiverem operando próximos. Adicionalmente, em redes Bluetooth com mobilidade, os efeitos de desvanecimento do sinal degradam significativamente o desempenho. É importante a utilização de estratégias que minimizem a transmissão em canais com grande interferência ou desvanecimento severo. Neste trabalho propomos um algoritmo de escalonamento baseado na informação estimada do estado de canal. A estimação do canal é feita através do parâmetro 'm' de Nakagami. Apresentamos resultados de simulação que demonstram o desempenho do algoritmo para diferentes condições de tráfego.

**Palavras-Chave** — redes sem fio, Bluetooth, escalonamento, desvanecimento Nakagami-m.

**Abstract** — Once Wireless Local Networks (WLAN) and Bluetooth devices share the same frequency band (ISM) there is a potential risk of interference if they are supposed to operate close to each other. Additionally, the signal fading effects on mobile Bluetooth networks may deeply affect the overall performance. That is why the use of strategies that minimize transmission on channels with great interference or severe fading is so important. This paper proposes a scheduling algorithm based on the information estimated for the channel state. This channel estimation is made by means of Nakagami's 'm' parameter. Simulation results showing the performance of the algorithm for different traffic conditions are then presented.

**Index Terms** — wireless networks, Bluetooth, scheduling, Nakagami-m fading.

## I. INTRODUÇÃO

Bluetooth é uma tecnologia emergente [1] para redes sem fio de comunicação pessoal de curta distância (WPAN). Os dispositivos Bluetooth operam na banda de frequência ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2,4 GHz utilizando a técnica de espalhamento espectral com saltos de frequência. A banda ISM também é utilizada pelos dispositivos de redes locais sem fio (WLAN). O objetivo da tecnologia Bluetooth não é competir com o padrão de WLAN quanto ao uso de espectro e aplicações, mas sim operar em conjunto e aumentar os cenários de uso. A taxa de transmissão em enlaces Bluetooth chega a 1 Mbps, usando modulação GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). O protocolo MAC do Bluetooth foi projetado para facilitar a formação de *redes ad-hoc*.

João Henrique Kleinschmidt e Marcelo E. Pellenz, Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brasil, E-mails: {joaohk, marcelo}@ppgia.pucpr.br.

Esta característica torna a tecnologia Bluetooth atrativa para aplicações em redes de sensores [4]. Os dispositivos podem se comunicar formando uma rede de até oito nós, chamada de *piconet*. Numa *piconet*, um dispositivo assume o papel de mestre e os outros de escravos. Dispositivos em diferentes *piconets* podem se comunicar usando uma estrutura chamada *scatternet*. O canal é dividido em quadros de tempo de 625  $\mu$ s. Um esquema TDD (Time-Division Duplex) é usado para operação bidirecional.

O compartilhamento da mesma banda de frequências entre os dispositivos WLAN e os dispositivos Bluetooth causa interferência se eles estiverem operando próximos. Adicionalmente, a proximidade de operação de diferentes *piconets* também pode gerar interferência mútua. Em redes Bluetooth com mobilidade dos nós, como em potenciais aplicações de sensoriamento, os efeitos de desvanecimento do sinal de rádio podem degradar significativamente o desempenho dos enlaces. A utilização de estratégias que minimizem a transmissão em canais com grande interferência ou desvanecimento severo do sinal pode melhorar substancialmente o desempenho da *piconet*. Para transmissões de dados o Bluetooth usa sete tipos de pacotes assíncronos. Cada pacote pode ocupar 1, 3 ou 5 quadros de tempo. A vazão de enlaces Bluetooth usando pacotes assíncronos foi calculada em [2] para o canal AWGN e para o canal com desvanecimento Rayleigh. Em [3] derivamos o desempenho de enlaces Bluetooth em canais com desvanecimento Nakagami-m. Medidas empíricas extensivas tem confirmado a utilidade da distribuição de Nakagami-m na modelagem de enlaces de rádio [14][15]. A distribuição Nakagami permite uma melhor caracterização do comportamento de canais reais, porque através do parâmetro  $m$  modela uma grande variedade de distribuições de desvanecimento. Para  $m=1$  se reduz à distribuição Rayleigh. Usando  $m<1$  ou  $m>1$  obtemos intensidades de desvanecimento mais e menos severas que o Rayleigh, respectivamente.

Neste trabalho propomos um novo algoritmo de escalonamento que usa a informação de qualidade de canal na política de escalonamento, baseado nos resultados de desempenho de enlaces Bluetooth em canais com desvanecimento Nakagami derivados em [3]. A taxa de erro de pacotes assíncronos para diferentes valores de  $m$  e relação sinal-ruído são derivados em [3] e um modelo logarítmico de perda de percurso com expoente  $\eta=4$  foi usado para relacionar a taxa de erro de pacotes com as distâncias entre nós.

A qualidade do canal é baseada numa estimativa símbolo-a-símbolo da relação sinal-interferência recebida e do parâmetro  $m$  de Nakagami. Apresentamos resultados de

simulação que demonstram o desempenho do algoritmo para diferentes condições de tráfego. O artigo está estruturado da seguinte forma: na Seção 2 apresentamos e discutimos as principais estratégias de escalonamento de piconets propostas na literatura. Na Seção 3 abordamos as técnicas para estimação de estado de canal. Na Seção 4 propomos a nova estratégia de escalonamento baseada na qualidade do canal e na Seção 5 apresentamos resultados de simulação em diferentes cenários de tráfego. As considerações finais são feitas na Seção 6.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS SOBRE ESCALONAMENTO DE PICONETS

Numa piconet Bluetooth, o acesso ao canal é controlado pelo dispositivo mestre. Um dispositivo escravo pode enviar um pacote apenas se receber um pacote do mestre. O mestre transmite pacotes ao escravo em quadros de tempo pares e recebe pacotes em quadros de tempo ímpares. Portanto, como o Bluetooth é um padrão TDD controlado pelo mestre, os algoritmos de escalonamento devem minimizar o desperdício de quadros de tempo que ocorre quando apenas o mestre ou o escravo tiver dados para transmitir. Recentemente, vários esquemas têm sido propostos na literatura para escalonamento de piconets e scatternets.

Em [5], várias estratégias de escalonamento são comparadas. No esquema *round robin* (RR) é definida uma ordem cíclica fixa, com duração de um quadro de tempo. A técnica *exhaustive round robin* (ERR) também usa uma ordem fixa, mas o mestre não muda para próximo escravo até que as filas de ambos estejam vazias. A principal desvantagem do ERR é que o canal pode ser capturado pelos nós que geram um tráfego maior que a capacidade do sistema. Este efeito de captura do ERR pode ser contornado utilizando o esquema *limited round robin* (LRR), que limita o número  $t$  de transmissões. Uma nova estratégia denominada *limited and weighted round robin* (LWRR), com pesos sendo atribuídos dinamicamente de acordo com o tamanho das filas, também é apresentada em [5]. Outros trabalhos sobre escalonamento de piconets consideram qualidade de serviço (QoS) em redes Bluetooth, como [6] e [7]. Os resultados apresentados em [5], [6] e [7] não consideram nenhum modelo de perda de pacotes ou qualidade para o canal de rádio.

Em [8] é apresentada uma política de escalonamento baseada nas filas de transmissão do mestre e dos escravos. Os pares mestre-escravo são classificados em classes de acordo com o tamanho das filas e do desperdício de quadros. Esta informação é usada numa política denominada *HOL-KFP* (Head-of-the-Line K-Fairness Policy). Quando os autores introduziram erros no canal, o *HOL-KFP* teve seu desempenho reduzido. Uma extensão do *HOL-KFP* chamada de *WAKFP* (Wireless Adapted KFP) foi proposta em [8] para melhorar o desempenho na presença de erros de canal. A estratégia utilizada no *WAKFP* é baseada apenas na informação de existência ou não de comunicação entre o mestre e o escravo. O modelo de erro utilizado para o canal é uma cadeia de Markov com dois estados.

Em geral as estratégias de escalonamento não consideram um modelo de perda para o canal sem fio. Em [9] um algoritmo chamado *BIAS* (Bluetooth Interference Aware

Scheduling) usa um procedimento de estimação de canal para detectar a presença de outros dispositivos sem fio que operam na mesma banda (como outros dispositivos Bluetooth ou IEEE 802.11b). O algoritmo de escalonamento evita a transmissão em frequências que têm uma alta taxa de erro de bit, chamadas de frequências ruins. Isto reduz a perda de pacotes devido à interferência de outros dispositivos próximos. O algoritmo *BIAS* proposto em [9] detecta canais problemáticos monitorando a taxa de erro de bit. Contudo, a incidência de erros na transmissão pode ser gerada por interferência ou por condições de propagação que levam ao desvanecimento severo do sinal. Neste contexto propomos uma estratégia mais geral baseada na estimação de qualidade do canal segundo o modelo de desvanecimento de Nakagami.

## III. INFORMAÇÃO DE ESTADO DE CANAL

Conhecer a informação de estado de canal implica em se determinar os ganhos introduzidos em cada amostra.

Para obter a informação de estado de canal, consideramos dois parâmetros que precisam ser estimados: a relação sinal-interferência (SIR) recebida e o parâmetro  $m$  da distribuição de Nakagami. O modelo de interferência também é aditivo e não pode ser dissociado do ruído. Portanto ruído e interferência são modelados conjuntamente como ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN) [13]. Esta relação também é expressa como relação sinal-ruído (SNR). Em [10], é proposto um estimador *on-line* de SNR para canais com desvanecimento que não requer a transmissão de símbolos de treinamento. É baseado na observação de um bloco de símbolos demodulados,  $r_n$ . A relação sinal-ruído média estimada,

$$\gamma = \frac{E_s}{N_0} E[\alpha_n^2], \quad (1)$$

é uma função da energia de símbolo,  $E_s$ , da densidade espectral de potência unilateral do ruído,  $N_0$ , e do desvanecimento aleatório  $\alpha_n$  experimentado pelo  $n$ -ésimo símbolo recebido,  $r_n$ . O estimador proposto em [10] define um parâmetro  $z$  como sendo a razão de duas medidas estatísticas calculadas a partir da seqüência de símbolos observados,  $r_n$ ,

$$z = \frac{E[r_n^2]}{E[r_n^2]^2}. \quad (2)$$

Através de um ajuste polinomial de curvas é obtida uma relação aproximada entre  $z$  e  $\gamma$  para  $m=1$ ,  $z=f(\gamma)$ . Equações para estimar SNR para outros valores de  $m$  podem ser derivadas de forma análoga. A derivação de  $f(\cdot)$  também depende do esquema de modulação empregado. O algoritmo proposto em [10] apresenta uma boa convergência para os valores estimados de SNR, a partir da análise de uma seqüência de 1000 bits. Propomos a aplicação desta técnica para a estimação de SNR em enlaces Bluetooth, pois demanda baixo custo computacional. O valor estimado de SNR é refinado de maneira contínua em função dos pacotes recebidos, permitindo uma estimativa símbolo-a-símbolo.

#### IV. ESTIMAÇÃO DO PARÂMETRO $m$ DE NAKAGAMI

A estimação do parâmetro  $m$  tem encontrado recentemente muitas aplicações, como por exemplo, em sistemas de transmissão com diversidade otimizados. De maneira a utilizar a distribuição de Nakagami para modelar um conjunto empírico de dados, é necessário determinar ou estimar o parâmetro  $m$  dos dados. O conhecimento do parâmetro  $m$  também é requerido pelo receptor para recepção ótima de sinais na presença de desvanecimento Nakagami. Muitos estimadores têm sido propostos na literatura para o parâmetro  $m$ . A função densidade de probabilidade de Nakagami é uma distribuição de dois parâmetros  $(m, \Omega)$ , onde  $\Omega = E[r_n^2]$  é o segundo momento das amostras do sinal,  $r_n$ . O parâmetro de desvanecimento  $m$  é definido como

$$m = \frac{\Omega^2}{E[(r_n^2 - \Omega)^2]} \quad m \geq 0.5 \quad (3)$$

Dado  $N$  amostras independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.)  $\{r_1, r_2, \dots, r_N\}$  de um sinal com desvanecimento Nakagami com parâmetro  $m$  e potência média  $\Omega = E[r_i^2]$ , podemos estimar o  $k$ -ésimo momento como

$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i^k. \quad (4)$$

O parâmetro  $m$  pode ser estimado a partir de sua definição, utilizando os momentos de segunda e quarta ordem,  $\hat{\mu}_2$  e  $\hat{\mu}_4$ :

$$\hat{m}_s = \frac{\hat{\mu}_2^2}{\hat{\mu}_4 - \hat{\mu}_2^2}. \quad (5)$$

Estimadores que envolvem momentos de alta ordem podem se desviar significativamente da estimativa real se o número de amostras,  $N$ , não for significativamente grande. Em [11], Cheng e Beaulieu propuseram dois novos estimadores, um baseado em momentos inteiros,  $\hat{m}_t$ , e outro em momentos reais,  $\hat{m}_{1/p}$ . Estes estimadores são eficientes para um número moderado de amostras e são adequados para implementações de baixa complexidade. Estes estimadores são definidos a seguir:

$$\hat{m}_t = \frac{\hat{\mu}_1 \hat{\mu}_2}{2(\hat{\mu}_3 - \hat{\mu}_1 \hat{\mu}_2)} \quad (6)$$

$$\hat{m}_{1/p} = \frac{\hat{\mu}_{1/p} \hat{\mu}_2}{2p(\hat{\mu}_{2+1/p} - \hat{\mu}_{1/p} \hat{\mu}_2)}, \quad (7)$$

onde  $\hat{\mu}_{1/p} = E[r_i^{1/p}]$  e  $\hat{\mu}_{2+1/p} = E[r_i^{2+1/p}]$ . Avaliamos as técnicas de estimação numa piconet considerando a transmissão de pacotes DM1/DH1. Isso representa uma seqüência mínima de amostras disponíveis para estimação de  $N=240$  amostras. Simulamos a condição de alteração da intensidade do desvanecimento (parâmetro  $m$ ) a cada nova transmissão num mesmo enlace mestre-escravo, no decorrer de 10 time slots. Os valores de  $m$  simulados e os respectivos valores estimados são apresentados na Tabela 1.

A Figura 1 mostra a convergência dos estimadores a cada time slot de polling de um mesmo enlace mestre-escravo. Podemos observar que o estimador  $\hat{m}_{1/p}$  possui uma melhor convergência. Ao final da transmissão do time slot teríamos o valor estimado,  $\hat{m}$ . Podemos estimar conjuntamente SNR e o parâmetro  $m$ . As estimativas de  $m$  e SNR representam a informação de estado de canal, que é utilizada na estratégia de escalonamento proposta.

TABELA 1. VALORES DE  $m$

Time Slot		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Parâmetro $m$ Simulado		0.5	1	0.5	1.5	1	1.5	0.5	1	0.5	1.5
Parâmetro $m$ Estimado	$\hat{m}_s$	0.60	0.93	0.80	1.74	1.27	2.17	0.56	0.99	0.50	2.22
	$\hat{m}_t$	0.63	0.95	0.94	1.87	1.35	2.32	0.63	1.07	0.48	2.33
	$\hat{m}_{1/p}$	0.56	0.95	0.62	1.60	1.25	2.08	0.50	0.96	0.52	2.08

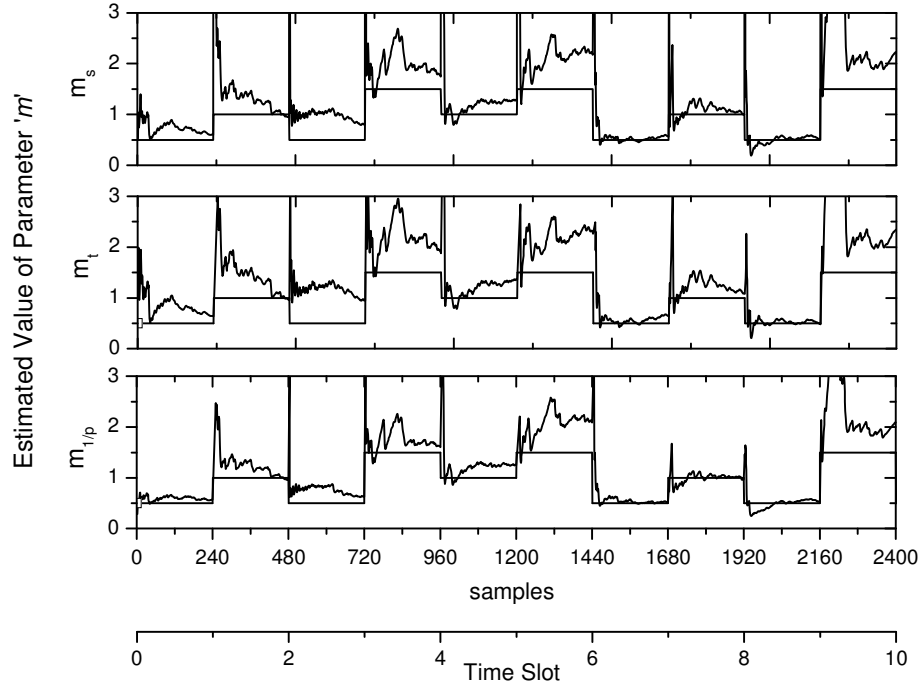


Fig. 1. Convergência dos estimadores

## V. ALGORITMO DE ESCALONAMENTO PROPOSTO

A condição do canal de comunicação sem fio pode afetar o desempenho da piconet e da estratégia de *polling*. Em ambientes móveis, a qualidade do canal pode mudar muito rapidamente e isto significa que um desempenho melhor pode ser atingido se um nó é requisitado a transmitir no momento que tem uma boa condição de canal e não permitido de transmitir quando as condições são ruins. Como Bluetooth é uma tecnologia desenvolvida para redes pessoais sem fio, erros de canal devido à mobilidade e interferência de outros dispositivos são muito comuns. Um bom algoritmo de escalonamento deve considerar estes dois fatores.

Nesta seção propomos um algoritmo chamado *BCSS* (Bluetooth Channel State Scheduling) que usa a informação de estado de canal para o escalonamento de piconets. Os valores do parâmetro de desvanecimento  $m$  e da relação sinal-ruído podem ser facilmente estimados como descrito na Seção 3. Estes parâmetros indicam uma estimativa da qualidade do canal, levando em conta interferência, desvanecimento e distância entre os nós.

O mestre faz as estimações usando os pacotes de dados trocados com os escravos. Cada vez que o mestre recebe um pacote, os valores de  $m$  e SNR para aquele enlace são refinados. Como esta tarefa não requer que nenhuma informação extra seja trocada entre o mestre e os escravos, nenhum tempo é adicionado à política de escalonamento. A precisão da estimação de  $m$  e da SNR será baixa no começo da transmissão, quando poucos pacotes foram trocados e a quantidade de bits a serem analisados não é significativa. Depois da transmissão de alguns pacotes, os valores estimados convergem para valores próximos aos reais.

Na nova política de escalonamento, o mestre irá fazer o *polling* somente dos escravos que estão acima de um certo limiar para  $m$  e SNR, indicando um bom estado de canal. Os escravos que estão abaixo desse limiar, indicando uma baixa qualidade de canal, serão pulados por no máximo  $t_j$  vezes. Se a condição do canal for sempre boa o algoritmo funciona como uma estratégia *round robin* convencional.

## VI. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Para comparar o desempenho do algoritmo *BCSS* com as estratégias *round robin* e *exhaustive round robin*, foi desenvolvido um simulador orientado a eventos em linguagem C++. O efeito do desvanecimento Nakagami sobre os pacotes transmitidos é simulado usando os resultados obtidos em [3]. Uma fonte de informação tipo Poisson foi considerada para geração de tráfego em cada nó da piconet. Este modelo pode simular várias aplicações do Bluetooth. A distribuição de Poisson é dada por:

$$P(n) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t), \quad (8)$$

onde  $\lambda$  é a taxa média de chegada de pacotes por quadro de tempo e  $P(n)$  é a probabilidade de  $n$  chegadas num tempo  $t$ . No primeiro cenário de simulação investigamos a influência do parâmetro  $m$  no escalonamento *round robin*. Como mostra a Figura 2, o cenário consiste de uma piconet com um mestre e sete escravos separados por uma distância  $d$ . A Figura 3 mostra as curvas do atraso médio de pacotes tipo DM1 para três diferentes valores de  $m$ , considerando distâncias de 7m e 10m entre os nós. Neste cenário todos os nós têm as mesmas condições de tráfego. A distribuição de Poisson é usada para gerar tráfego nas 14 filas (do mestre para os sete escravos e

dos escravos para o mestre). Podemos observar na Figura 3 que o estado do canal tem grande influência no atraso médio da piconet, afetando o desempenho da rede. A distância entre os nós está embutida na estimativa de SNR, devido a perda de percurso do sinal transmitido. A condição de propagação do canal é dada pelo parâmetro  $m$ . A variabilidade de  $m$  reflete os efeitos de desvanecimento rápido do sinal devido à mobilidade dos nós ou de outros objetos no ambiente da rede, que afetam a propagação do sinal.

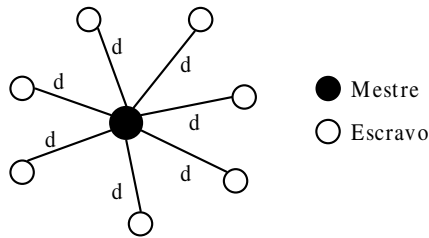


Fig 2. Primeiro cenário de piconet

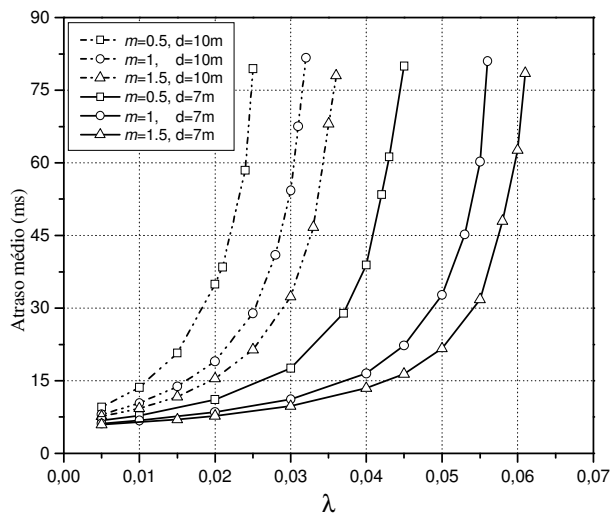


Fig 3. Atraso médio para diferentes valores de  $m$

No segundo cenário de simulação mostrado na Figura 4, uma piconet com um mestre e quatro escravos é considerada. As Figuras 5 e 6 comparam o atraso médio de pacotes DM1 para diferentes condições de tráfego, usando RR, ERR e o algoritmo BCSS. No algoritmo BCSS foi usado  $t_j=6$  e um limiar  $m=1$ . Isto significa que o mestre fará a *polling* apenas dos escravos com  $m>1$  e os outros serão pulados por no máximo seis vezes. O tráfego é o mesmo nas filas do mestre e dos escravos. Na simulação consideramos que as condições do canal mudam a cada duas rodadas do esquema de *polling*.

Também foi considerado o cenário da Figura 4 com  $d=10$  m para diferentes condições de tráfego nos enlaces mestre-escravo, como mostra a Tabela 2. Os resultados são apresentados na Figura 7. Das Figuras 5 a 7 pode-se observar que o algoritmo BCSS melhora seu desempenho quando o tráfego é alto. Para baixo tráfego, a estratégia ERR tem o

melhor desempenho. Em [5] e [12] também foi concluído que o serviço exaustivo (ERR) não tem bom rendimento com tráfegos altos.

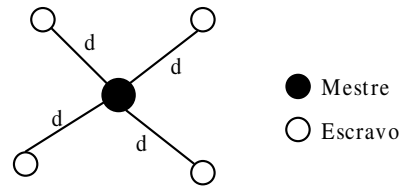


Fig 4. Segundo cenário de piconet

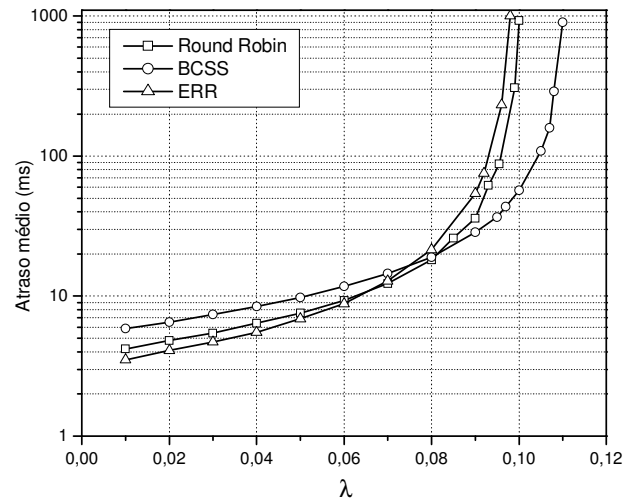


Fig. 5. Atraso médio para  $d = 7$  m

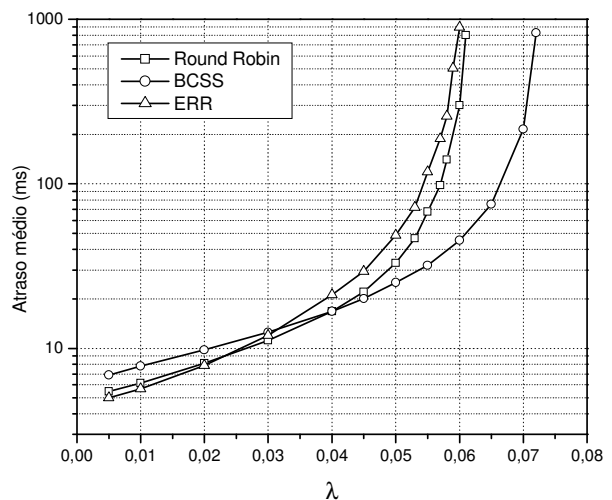


Fig. 6. Atraso médio para  $d = 10$  m

TABELA 2. CONDIÇÕES DE TRÁFEGO PARA ENLACES MESTRE-ESCRAVO

Cenário de Tráfego	$\lambda_1$ (mestre-escravo 1)	$\lambda_2$ (mestre-escravo 2)	$\lambda_3$ (mestre-escravo 3)	$\lambda_4$ (mestre-escravo 4)
1	0,01	0,01	0,02	0,02
2	0,01	0,01	0,04	0,04
3	0,03	0,05	0,03	0,05
4	0,03	0,03	0,06	0,06

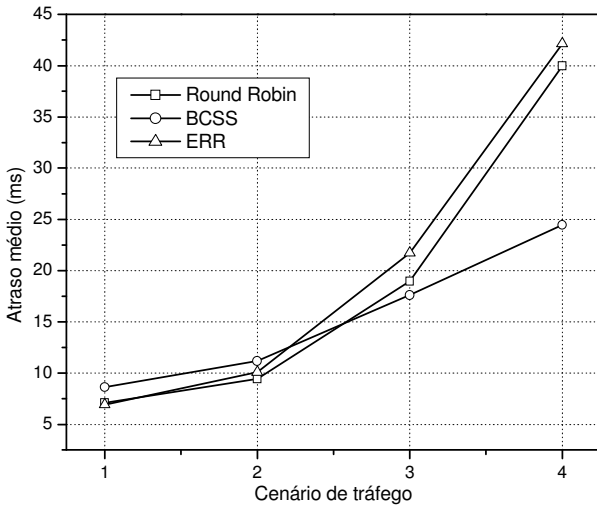


Fig. 7. Atraso médio para diferentes cenários de tráfego

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho propomos um algoritmo de escalonamento de piconets baseado na estimação do estado de canal, usando a relação sinal-ruído e o parâmetro  $m$  de Nakagami. O algoritmo BCSS é eficiente para altas taxas de tráfego se as condições de canal variam rapidamente. Estas variações na qualidade do canal estão presentes em muitas aplicações do Bluetooth em ambientes com interferência e mobilidade. A estimação de SNR e  $m$  também é necessária para aplicação de estratégias de codificação específicas usando pacotes AUX1, particularmente para o uso de algoritmos de decodificação turbo. A estratégia BCSS pode ser combinada com outras políticas de escalonamento para melhorar seu desempenho. Como trabalho futuro pretendemos implementar uma política

de escalonamento para scatternets usando a informação do estado de canal. O parâmetro  $m$  e o SNR podem ser usados também em estratégias de formação, roteamento ou economia de energia em redes Bluetooth. A análise de desempenho do algoritmo proposto pode ser estendida para outras fontes de tráfego, como FTP, HTTP e voz.

## REFERÊNCIAS

- [1] Bluetooth SIG, "Specifications of the Bluetooth system", *Core Version 1.1*, Fevereiro 2001. <http://www.bluetooth.com>
- [2] M. C. Valenti, M. Robert e J. H. Reed, "On the throughput of Bluetooth data transmissions", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Orlando, FL, pp. 119-123, Março 2002.
- [3] J. H. Kleinschmidt, M. E. Pellenz e E. Jamhour, "Bluetooth network performance in Nakagami- $m$  fading channels", *The Fifth IFIP TC6 International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks*, Cingapura, Outubro 2003.
- [4] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian e E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, Agosto 2002.
- [5] A. Capone, M. Gerla e R. Kapoor, "Efficient polling schemes for Bluetooth picocells", *IEEE International Conference on Communications*, Helsinki, Finlândia, Junho 2001.
- [6] J. B. Lapeyrie e T. Turletti, "FPQ: a Fair and Efficient Polling Algorithm with QoS Support for Bluetooth Piconet", *IEEE Infocom*, San Francisco, CA, 2003.
- [7] Y. Liu, Q. Zhang e W. Zhu, "A Priority-Based MAC Scheduling Algorithm for Enhancing QoS support in Bluetooth Piconet", *IEEE International Conference on Communications, Circuits and Systems*, Julho 2002.
- [8] M. Kalia, D. Bansal e R. Shorey, "MAC Scheduling and SAR Policies for Bluetooth: A Master Driven TDD Pico-Cellular Wireless System", *IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications*, San Diego, California, Novembro 1999.
- [9] N. Golmie, "Performance evaluation of a Bluetooth channel estimation algorithm", *IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, Lisboa, Portugal, Setembro 2002.
- [10] A. Ramesh, A. Chockalingam e L. B. Milstein, "SNR estimation in generalized fading channels and its application to turbo decoding", *IEEE International Conference on Communications*, Helsinki, Finlândia, Junho 2001.
- [11] J. Cheng e N. C. Beaulieu, "Generalized moment estimators for the Nakagami fading parameter", *IEEE Communication Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 144-146, Abril 2002.
- [12] N. Johansson, U. Körner e P. Johansson, "Performance Evaluation of Scheduling Algorithms for Bluetooth", *IFIP TC6 International Conference on Broadband Communications*, Hong Kong, Novembro 1999.
- [13] A. Sampath e D. R. Jeske, "Analysis of Signal-to-Interference Ratio Estimation Methods for Wireless Communications Systems", *IEEE International Conference on Communications*, 2001, vol. 8, pp. 2499 - 2503, Junho 2001.
- [14] M. Nakagami, "The  $m$ -distribution, a general formula of intensity distribution of rapid fading", in *Statistical Methods in Radio Wave Propagation*, W. G. Hoffman, Ed. Oxford, England: Pergamon, 1960.
- [15] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio channel model", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 25, pp. 673 - 680, Julho 1977.