

Análise de desempenho do controle de potência de desconexão suave em sistemas celulares com macro e femtocélulas

Mateus Pontes Mota, Caio Morel Nogueira e Tarcisio F. Maciel

Resumo—Este artigo analisa as vantagens do uso do controle de potência com desconexão suave em sistemas de comunicações. Tal estudo é realizado utilizando simulações de Monte Carlo considerando um cenário com quatro femtocélulas e uma macrocélula. Os resultados obtidos mostram consideráveis reduções das potências médias de transmissão enquanto a taxa atingida por uma fração significativa dos enlaces é melhorada.

Palavras-Chave—Formação de feixe oportunística, controle de potência, femtocélulas.

I. INTRODUÇÃO

Uma forma para otimizar os sistemas de comunicação é aproximar transmissor e receptor e uma solução de baixo custo é utilizar femtocélulas. Femtocélulas são pequenas estações rádio-base, ou femto-estações (FS, do inglês *Femto Station*), que servem para melhorar a comunicação entre dispositivos móveis em ambientes fechados, pois diminuem o prejuízo por conta de barreiras físicas, e aumentar a capacidade e eficiência espectral dos sistemas de comunicações, através e.g. do compartilhamento do espectro de frequência [1].

Interferências adicionais surgem quando o espectro de frequência da estação rádio-base (BS, do inglês *Base Station*) de uma macrocélula em um sistema celular é compartilhado com femtocélulas. Algumas técnicas utilizadas para atenuar essa interferência são o uso de formação de feixes oportunistas o qual não exige coordenação entre macro- e femtocélulas e se orienta ao reuso espacial oportunístico dos recursos de rádio [1], [2] e o uso de algoritmos de controle de potência que tentam otimizar a capacidade reduzindo os níveis de potência de transmissão ao mínimo necessário para assegurar alvos de qualidade de serviço pré-estabelecidos [3]. Além da redução de interferência, o controle de potência provê economia de energia.

Nesse artigo empregamos o algoritmo de controle de potência de desconexão suave (SDPC, do inglês *soft-dropping power control*), que ajusta iterativamente as potências de transmissão das estações a fim de fazer convergirem as SINRs dos enlaces para uma faixa de SINR pré-definida utilizando SINRs alvo variáveis [3] considerando um sistema composto de uma macro- e várias femtocélulas.

II. MODELO DO SISTEMA

Consideramos o enlace direto entre uma macrocélula e quatro femtocélulas que compartilham o mesmo espectro e foram realizadas simulações de Monte Carlo onde vinte terminais móveis (MT, do inglês *Mobile Terminal*) são postos na área de cobertura da BS como mostrado na Figura 1.

Mateus Pontes Mota, Caio Morel Nogueira e Tarcisio F. Maciel, Grupo de Pesquisas em Telecomunicações sem Fio (GTEL), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, E-mails: {mateus,caio,maciel}@gtel.ufc.br, Este trabalho foi parcialmente financiado pela FUNCAP (PP01-0033-00084.01.00/10).

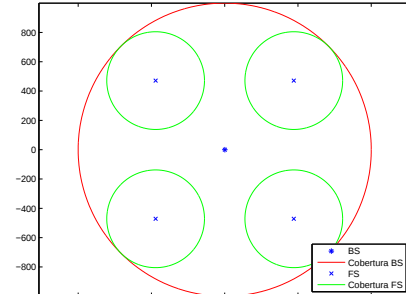


Fig. 1. Modelo do sistema

Após o sorteio das posições dos MTs, gera-se o canal onde são modelados a perda de percurso, o sombreamento e desvanecimento rápido, este último utilizando o modelo de canal espacial (SCM, do inglês *Spatial Channel Model*) do projeto de parceria para a 3a. geração (3GPP, do inglês *3rd. Generation Partnership Project*) [4]. Simula-se 180 intervalos de transmissão (TTI, do inglês *Transmission Time Interval*) de 1ms por experimento de Monte Carlo. Os principais parâmetros de simulação estão listados na Tabela I e estão parcialmente alinhados com aqueles utilizados pelo 3GPP.

TABELA I
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO.

Parâmetro	Valor	Unid.
Raio da BS / FS	1000 / 333.3	m
Mínima distância BS/FS – TM	35	m
Frequência do sistema	2	GHz
Número de MT	20	-
Tempo de simulação	180	ms
Número de subportadoras	512	-
Número de blocos de recurso(RB)	1	-
Subportadoras por RB	12	-
Banda da subportadora	15	kHz
Número de snapshots	30	-
Desvio padrão de sombreamento	8	dB
Potência de ruído	-112.45	dBm
Tempo de cada intervalo	1	ms
Duração de snapshot	180	ms
Perda de percurso	$128.1 + 36.7 \log(d)$, d in km	dB
Número de antenas	4 (BS/FS), 1 (MT)	-
Potência mínima da BS	13	dBm
Potência máxima da BS	43	dBm
Potência mínima da FS	24	dBm
Potência máxima da FS	-6	dBm
Modelo do canal	SCM urban micro	-
Controle de potência	Nenhum, SDPC	-
Faixa de SINR para SDPC	[4,20]	dB
Alocação de potência por RB	Igualitária	-

A cada vinte TTIs as estações geram um feixe aleatório e o MT com a melhor relação sinal-ruído (SNR, do inglês *Signal-to-Noise Ratio*) em relação à uma estação é escolhido para recepção na mesma. Essa técnica é conhecida como formação de feixe oportunística [2] onde um vetor $\mathbf{w}_i = [w_{i,1} \ w_{i,2} \ \dots \ w_{i,M}]^T \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ de pesos complexos é usado para orientar um feixe no bloco de recurso (RB, do inglês *Resource Block*) n de uma estação i para uma direção aleatória. Vale ressaltar que $\mathbf{w}_i$ tem norma unitária e que o índice n da portadora foi omitido para simplificar a notação. Omitindo novamente o índice n da portadora, organizando os coeficientes complexos $h_{j,m}$ do canal entre

a antena transmissora m e o móvel j na subportadora n no vetor do canal $\mathbf{h}_{i,j} = [h_{i,j,1} \ h_{i,j,2} \ \dots \ h_{i,j,M}] \in \mathbb{C}^{1 \times M}$ e usando $\mathbf{w}_i$ pode-se definir a SNR do MT j no feixe da estação i do RB n como

$$\gamma_{i,j} = p_i \|\mathbf{h}_{i,j} \mathbf{w}_i\|_2^2 / \sigma^2 \quad (1)$$

onde $p_{n,b}$ é a potência de transmissão da base i no RB n e σ^2 é a potência de ruído do RB n .

Usando (1), os MTs distintos de maior SNR em cada feixe são escalonados para recepção por cada estação. Então calcula-se a relação sinal ruído mais interferência (SINR, do inglês *Signal-to-Interference plus Noise Ratio*) como

$$\gamma_{i,j} = \frac{p_i \|\mathbf{h}_{i,j} \mathbf{w}_i\|_2^2}{\sigma^2 + \sum_{k=1, k \neq i}^{N_B} p_k \|\mathbf{h}_{k,j} \mathbf{w}_k\|_2^2} \quad (2)$$

onde o somatório indica a interferência entre as células. Para os casos onde não há controle de potência, a potência máxima é utilizada e para o caso onde o SDPC é utilizado a potência p no instante t é dado por

$$p_i^{(t)} = p_i^{(t-1)} + \beta(\bar{\gamma}^{(t)} - \gamma^{(t-1)}), \quad (3)$$

onde a SINR alvo $\bar{\gamma}^{(t)}$ é dado por

$$\bar{\gamma}^{(t)} = \max \left\{ \hat{\gamma}, \min \left\{ \tilde{\gamma}, \tilde{\gamma} \left(\frac{p^{(t-1)}}{\hat{p}} \right)^\rho \right\} \right\}, \text{ com} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{\log(\hat{\gamma}/\tilde{\gamma})}{\log(\hat{p}/\tilde{p})}$$

onde $\hat{\gamma}$ e $\tilde{\gamma}$ são a máxima e mínima SINR alvo, $\hat{p}$ e $\tilde{p}$ são a máxima e mínima potência de transmissão, $\gamma^{(t)}$ é a SINR no instante de tempo t e $\beta = 0.9$ é um parâmetro de controle.

III. RESULTADOS E ANÁLISES

A partir dos dados coletados nos experimentos de Monte Carlo calculou-se a potência média e a SINR das estações com e sem o uso de controle de potência. A Figura 2 mostra do 10º ao 90º percentis da SINR percebida pelos MTs servidos pela BS e a potência média da mesma com e sem o uso do SDPC. A Figura 3 mostra resultados análogos para uma FS. Como pode ser visto, o uso do SDPC resulta em economias consideráveis de potência de transmissão para a BS enquanto que as reduções percebidas nos níveis de SINR da BS são relativamente modestos. Dispondo de mais potência, a BS é pouco sensível à interferência gerada pelas FS. Embora a BS sofra reduções na SINR de seus MTs, a melhoria provida para as FSs apresentam custo-benefício bastante favorável. Dispondo de menos potência e sendo mais sensíveis à interferência, as FS conseguem através do uso do SDPC melhorar significativamente os níveis de SINR percebidos pelos seus MTs, como pode ser visto na Figura 3, do 10º ao 60º percentil da SINR são percebidos ganhos que variam de aproximadamente 3 a 13 dB enquanto reduzem também suas potências de transmissão. Vale ressaltar que o uso da formação de feixe oportunística o sistema aqui modelado é capaz de prover as SINR alvo desejadas em todas as configurações.

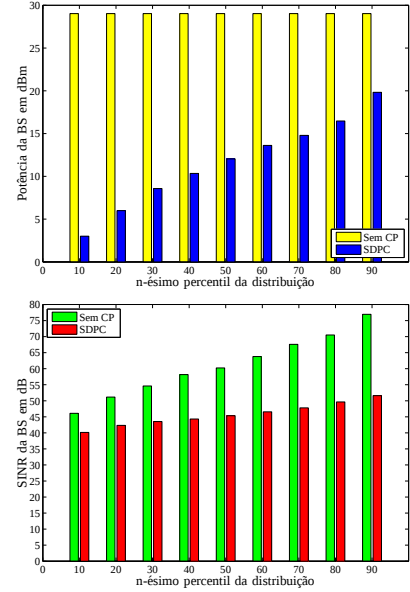


Fig. 2. Percentis da potência e SINR para os MTs servidos pela BS.

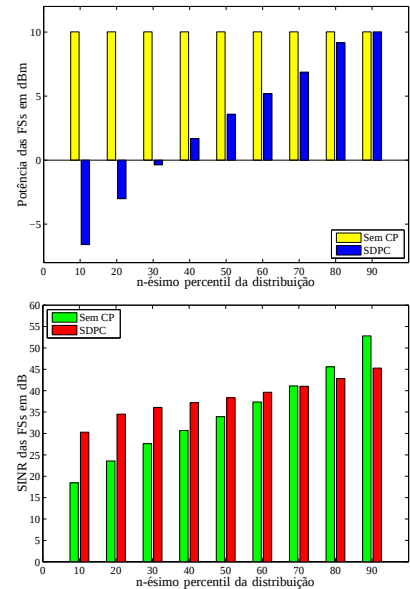


Fig. 3. Percentis da SINR e potência para os MTs servidos pelas FSs.

IV. CONCLUSÕES

Avaliou-se o impacto do SDPC sobre um sistema composto de macro- e femtocélulas que forneceu consideráveis reduções das potências médias de transmissão enquanto a taxa atingida por uma fração significativa dos enlaces é melhorada quando o SDPC é utilizado. Como perspectivas, pode-se comparar os casos com formação de feixes fixos e aleatórios.

REFERÊNCIAS

- [1] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: a survey," vol. 46, no. 9, pp. 59–67, September 2008.
- [2] P. Viswanath, D. N. C. Tse, and R. Laroia, "Opportunistic beamforming using dumb antennas," vol. 46, no. 6, pp. 1277–1294, June 2002.
- [3] R. D. Yates, S. Gupta, C. Rose, and S. Sohn, "Soft dropping power control," in *Vehicular Technology Conference, 1997, IEEE 47th*, vol. 3, 1997, pp. 1694 – 1698.
- [4] 3GPP, "Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations," 3rd. Generation Partnership Project, Tech. Rep. TR 25.996 V7.0.0, Jun. 2007.