

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

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

Resumo—Este artigo analisa o impacto do controle de potência distribuído sobre a potência média de transmissão e a capacidade de macro- e femtocélulas empregando arranjos de antenas e usando formação de feixe oportunística. A análise de desempenho é realizada através de 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

Pesquisas recentes mostram que o uso de telecomunicações sem fio em residências irá aumentar bastante nos próximos anos e uma solução para diminuir o tráfego nas macrocélulas é o uso da tecnologia recém-desenvolvida de femtocélulas. As femtocélulas são pequenas estações rádio base, ou femto-estações (FS, do inglês *Femto Station*), com curto alcance e baixo custo, desenvolvidas para operar dentro de casas ou escritórios com a finalidade de melhorar a telecomunicação sem fio e aumentar a capacidade e eficiência espectral dos sistemas de comunicações através, e.g., do compartilhamento do espectro de frequência [1].

Em particular, 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, interferência adicional surge devido ao reuso do espectro. Essa interferência pode ser combatida através de técnicas de múltiplas antenas, como formação de feixes oportunística a qual não exige coordenação entre macro- e femtocélulas e se orienta ao reuso espacial oportunístico dos recursos de rádio [1], [2]. Interferência pode ainda ser combatida através 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], reduzindo a interferência e provendo economia de energia.

Neste artigo empregamos, o algoritmo de controle de potência distribuído (DPC, do inglês *distributed power control*), que ajusta iterativamente as potências de transmissão das estações a fim de fazer convergirem as SINRs dos enlaces para uma SINR alvo pré-definida [3], em um sistema composto de uma macro- e femtocélulas

II. MODELO DO SISTEMA

Consideramos o enlace direto de um sistema composto de uma macrocélula e quatro femtocélulas que compartilham o

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

mesmo espectro. Consideramos simulações de Monte Carlo onde vinte terminais móveis (MT, do inglês *Mobile Terminal*) são postos aleatoriamente na área de cobertura da BS, que se superpõe à das FSs, como mostrado na Figura 1.

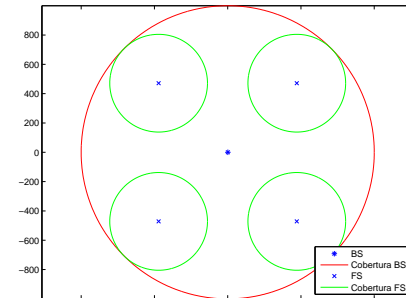


Fig. 1. Modelo do sistema

Após o posicionamento dos MTs, gera-se o canal onde são modelados a perda de percurso, o sombreamento e desvanecimento rápido. Este último é modelado 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]. Um total de 180 intervalos de transmissão (TTI, do inglês *Transmission Time Interval*) de 1ms são simulados por experimento de Monte Carlo. Nossos 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 MTs	20	-
Tempo de simulação	180	ms
Número de subportadoras	512	-
Número de RBs	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,DPC	-
SINR alvo para DPC	4,8,12,16,20	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

$$w_i = [w_{i,1} \ w_{i,2} \ \dots \ w_{i,M}]^T \in \mathbb{C}^{M \times 1}, \quad (1)$$

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 em (1) 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

$$\mathbf{h}_{i,j} = [h_{i,j,1} \ h_{i,j,2} \ \dots \ h_{i,j,M}] \in \mathbb{C}^{1 \times M}, \quad (2)$$

e usando (1) pode-se definir a SNR do MT j no feixe da estação i do RB n como

$$\gamma_{i,j} = p_i \|\mathbf{h}_{i,j} \mathbf{w}_i\|_2^2 / \sigma^2 \quad (3)$$

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 (3), 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

$$\gamma_{i,j} = \frac{p_i \|\mathbf{h}_{i,j} \mathbf{w}_i\|_2^2}{\sigma^2 + \sum_{k=1, k \neq i}^{N_B} p_k \|\mathbf{h}_{k,j} \mathbf{w}_k\|_2^2} \quad (4)$$

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 DPC é utilizado a potência p no instante t é dado por

$$p_i^{(t)} = p_i^{(t-1)} + \beta(\bar{\gamma} - \gamma^{(t-1)}), \quad (5)$$

onde $\bar{\gamma}$ é a SINR alvo e $\gamma^{(t)}$ é a SINR no instante de tempo t e $\beta = 0.9$ é um parâmetro de controle tal que $0 \leq \beta \leq 1$ e quanto mais próximo de 1, mais rápido o algoritmo converge para a SINR alvo.

III. RESULTADOS E ANÁLISES

A partir do que fora coletado foi calculada a potência média utilizada pelas estações com e sem o uso de controle de potência. A Figura 2 mostra a potência média utilizada pela BS e pelas FS com e sem o uso do DPC para diferentes valores de SINR alvo para o DPC. Como pode ser visto, o uso do DPC resulta em economias consideráveis de potência de transmissão para as estações.

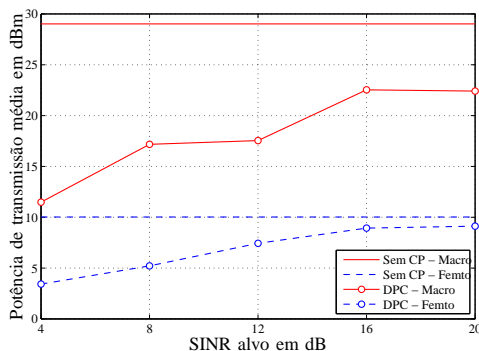


Fig. 2. Potência média de transmissão das estações.

A Figura 3 mostra o 10^o e o 50^o percentis da SINR percebida pelos MTs servidos pela BS e pelas FS com e sem o uso do DPC para diferentes valores de SINR alvo para o DPC. Como pode ser visto na Figura 3(a), acima, com o

uso do DPC os níveis de SINR da BS caem comparados ao caso sem controle de potência, porém atingem satisfatória os valores de SINR alvo estabelecidos. Além disso, a redução de interferência proporcionada pelo DPC permite elevar substancialmente a qualidade percebida por 90% dos MTs servidos pelas FSs. De forma similar, quando consideramos a qualidade percebida pelos 50% melhores MTs do sistema na Figura 3(b), abaixo, observamos que o DPC obtém exatamente as SINR alvo prescritas para os MTs servidos pela BS, bem como realiza o mesmo para as FSs quando o requisito de SINR é inferior a 12 dB. Observe ainda que para o caso sem o DPC, 50% dos MTs servidos pelas FS atingem apenas 4 dB, ficando consideravelmente aquém da maioria dos valores de SINR alvo prescritos.

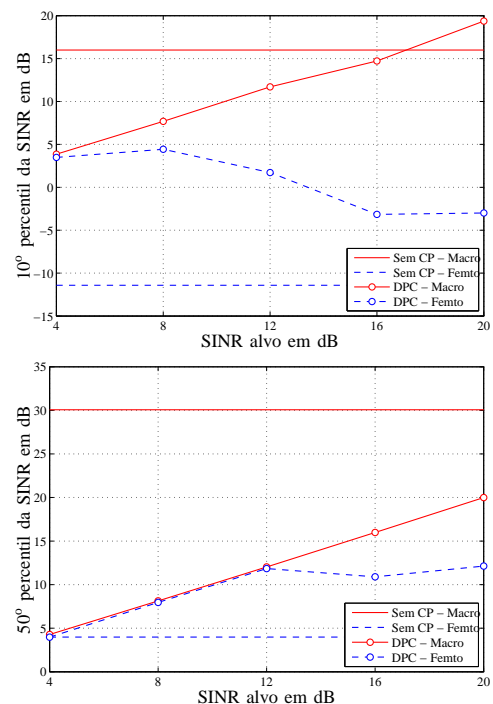


Fig. 3. Percentis da SINR para os MTs servidos pelas estações.

IV. CONCLUSÕES

Neste artigo avaliamos o impacto do controle de potência distribuído (DPC) sobre um sistema composto de macro e femtocélulas. Os resultados obtidos mostram consideráveis reduções das potências médias de transmissão enquanto a taxa atingida por uma fração significativa dos enlaces é melhorada quando o DPC é utilizado.

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] G. J. Foschini and Z. Miljanic, "A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence," vol. 42, no. 4, pp. 641–646, Nov. 1993.
- [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.