

EFICIÊNCIA DE REUSO EM REDES CELULARES CDMA QUASE REAIS

CÉSAR KYN D'ÁVILA ⁽¹⁾ E MICHEL DAOUY YACOUB ⁽²⁾

⁽¹⁾ Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - Universidade São Francisco (USF)
R. Alexandre Rodrigues Barbosa, 41 - CEP 13.251-900
telefone : +55-19-996-1964 fax: +55-19-287-6657
e-mail: cedet@correionet.com.br

⁽²⁾ Departamento de Comunicações – FEEC/UNICAMP
Caixa Postal 6101 - Campinas - SP - Brasil
telefone : +55-19-788-3812 fax: +55-19-239-1395
e-mail : michel@decom.fee.unicamp.br

RESUMO

Este artigo apresenta um método simples e exato para o cálculo da eficiência de reuso de frequências de sistemas celulares CDMA. Este método atende às situações de qualquer distribuição de tráfego com células em qualquer posição, ao contrário dos métodos anteriores [1,2] que consideravam um layout hexagonal regular. Esta nova característica, torna o novo método aplicável para redes com características quase reais, permitindo inclusive a consideração de sobreposição e espaços vazios (áreas de sombra) entre as células.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência de reuso de frequências (F) é um parâmetro definido como [3]

$$F_j = \frac{I_{oc}}{I_{oc} + I_{mc}} \quad (1)$$

onde I_{mc} é a interferência da mesma célula (interferência gerada na célula j) e I_{oc} é a interferência das outras células. Uma definição mais precisa é apresentada em [4]

$$F_j = \left[\sum_{i=1}^N \frac{k_i}{k_j} \right]^{-1} \quad 1 \leq j \leq N \quad (2)$$

onde N é o número de células do sistema e k_i é um fator de interferência da célula i sobre a célula j . O parâmetro k_i pode ser calculado para o enlace reverso de um sistema celular CDMA como função das condições do ambiente de propagação (normalmente considera-se um ambiente com característica

lognormal) e da distribuição de tráfego, da seguinte forma

$$k_i = \int_{A_i} C \left(\frac{r_s}{r_t} \right)^\gamma \exp \left[\left(\frac{\sigma \ln 10}{10} \right)^2 \right] \left\{ 1 - Q \left[\frac{10\gamma \log \left(\frac{r_t}{r_s} \right) - \sqrt{2\sigma^2} \frac{\ln 10}{10}}{\sqrt{2\sigma^2}} \right] \right\} \rho(x, y) dA \quad (3)$$

onde r_s é a distância do móvel interferente para a sua estação base servidora, r_t é a distância deste móvel para a célula alvo (a que sofre a sua interferência), γ é o expoente de perda de percurso, σ é o desvio padrão da distribuição lognormal que caracteriza o ambiente, $\rho(x, y)$ é a densidade de tráfego como função das variáveis de posição (x, y) , A_i é a área de integração da célula i , dA é a área infinitesimal, e C é uma constante que inclui a potência transmitida pelo móvel, fator de atividade de voz, e outros. A função $Q(\cdot)$ é definida como

$$Q(a) = \frac{1}{2\pi} \int_a^\infty \exp \left(-\frac{t^2}{2} \right) dt \quad (4)$$

A eficiência de reuso de frequências tem um impacto direto na capacidade [4] e na predição de cobertura de um sistema [5]. Portanto, uma estimativa precisa deste parâmetro é de fundamental importância no planejamento de um sistema CDMA. Por outro lado, este parâmetro varia de forma substancial com as particularidades do ambiente de propagação,

com o layout do sistema, e também com a distribuição de tráfego. De fato, obter uma estimativa precisa da eficiência de reuso é um processo complicado que demanda grande tempo de computação. Esses cálculos são usualmente executados através de processos de simulação [6] ou integração numérica [4]. Como consequência, nas práticas de planejamento celular, os projetistas fazem uso de valores típicos (com por exemplo 0.65 [6]) obtidos para um layout hexagonal de células, todas com o mesmo tamanho, sob uma distribuição de tráfego uniforme, o que certamente não corresponde à situação real.

As referências [1] e [2] propõem métodos computacionalmente rápidos e que calculam o parâmetro F de forma precisa. Estes métodos resolvem o problema para qualquer distribuição de tráfego e para diferentes ambientes de propagação, mas ainda apresentam restrições quanto ao layout hexagonal com células de mesmo tamanho.

Este artigo apresenta um método que pode ser utilizado para o cálculo da eficiência de reuso em redes celulares que são mais próximas da situação real. Neste método, qualquer distribuição de tráfego pode ser utilizada e as células podem ser posicionadas em qualquer lugar, ou seja, não necessariamente precisam estar dentro de um arranjo hexagonal. Esta última melhoria permite inclusive a consideração de situações de sobreposição da área de cobertura entre células, assim como áreas vazias entre elas (áreas de sombra).

Para implementar esta nova característica o método utiliza uma nova função de decomposição de tráfego chamada de densidade duplo-platô. A vantagem no uso da densidade duplo-platô ao invés da platô [1] ou platô linear [2] ficará clara no desenvolvimento das seções posteriores deste artigo.

Uma descrição detalhada da nova metodologia é apresentada na Seção 2. Na Seção 3 um exemplo da aplicação do método é apresentado, e na Seção 4 as conclusões do trabalho são apresentadas.

2. O NOVO MÉTODO PARA O CÁLCULO DE F

De forma similar aos métodos propostos em [1,2], o método apresentado neste artigo é baseado em um algoritmo de quatro etapas nomeadas processos :

- 1) Processo de Rearranjo do Tráfego (PRT)
- 2) Processo de Decomposição do Tráfego (PDT)
- 3) Processo de Avaliação Parcial (PAP)
- 4) Processo de Avaliação Final (PAF)

Para um entendimento geral sobre o procedimento, uma breve explicação de cada um dos processos é feita a seguir. Para uma dada célula j , o PRT implementa um rearranjo do tráfego original das células para que este fique ajustado a um formato exigido pelos processos subsequentes. O PDT consiste em escrever a distribuição de tráfego como uma soma de distribuições padrão como as densidades platô em [1], densidades platô linear em [2],

ou duplo-platô como definido de forma original por este trabalho. O PAP consiste em um processo para a obtenção de um conjunto de eficiências de reuso parciais através de curvas padrão. Finalmente, o PAF calcula a eficiência de reuso final para a célula alvo como uma média ponderada dos valores de eficiência de reuso parcial.

A Figura 1 mostra um diagrama de blocos do método com as entradas e saídas de cada um dos processos em questão.

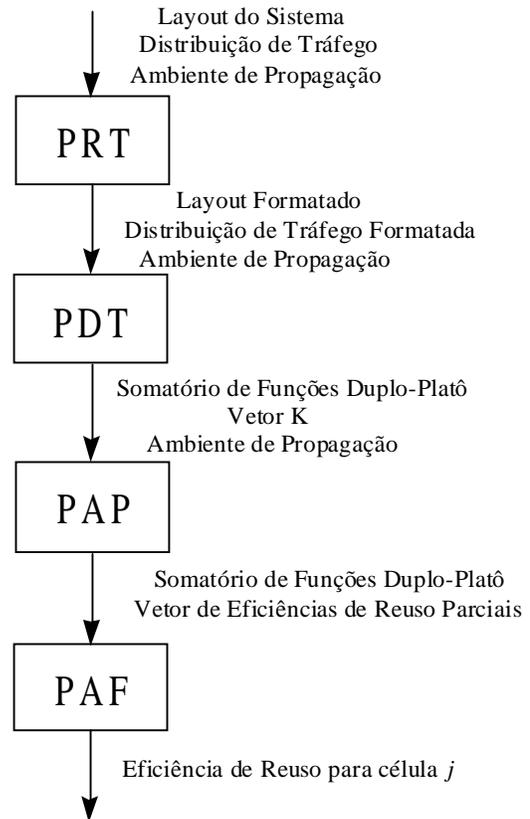


Fig. 1 : Fluxograma do Método Linear.

Uma descrição mais detalhada de cada um dos processos será apresentada a seguir.

2.1 Processo de Rearranjo de Tráfego (PRT)

Para uma dada célula j , os níveis de tráfego das células que estão em torno da célula j na mesma distância são somados em uma única célula. Como exemplo, vamos considerar o sistema da Figura 2 para o qual, cada célula i tem uma distância da célula alvo d_i e uma distribuição de tráfego ρ_i .

Depois do processamento do TRP o sistema CDMA da Figura 2 será formatado para a situação apresentada na Figura 3. Note que as células que tinham a mesma distância para a célula alvo convergiram para uma única célula na mesma distância da célula j através da soma das respectivas densidades de tráfego.

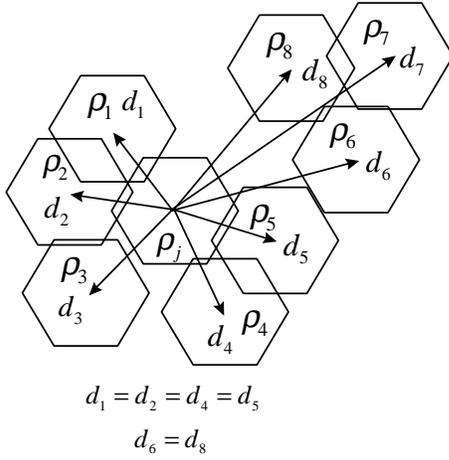


Fig. 2 : Exemplo de um layout de um sistema celular CDMA na entrada do Processo de Rearranjo do Tráfego (PRT).

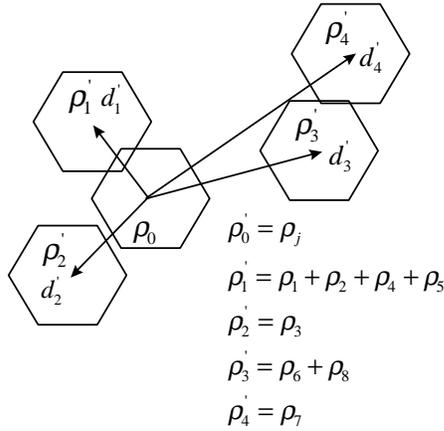


Fig. 3 : Saída do Processo de Redistribuição do Tráfego (TRP).

2.2 Processo de Decomposição do Tráfego (PDT)

Assumindo que o layout do sistema formatado tem L células interferentes, então uma distribuição genérica de tráfego $\rho(x, y)$ pode ser escrita como

$$\rho(x, y) = \sum_{i=0}^L \rho'_i \delta_i(x, y) \quad (5)$$

onde ρ'_i é a densidade de tráfego média da célula i e $\delta_i(x, y)$ é dado por

$$\delta_i(x, y) = \begin{cases} 1 & (x, y) \in A'_i \\ 0 & (x, y) \notin A'_i \end{cases} \quad (6)$$

onde A'_i é a área da célula i no layout formatado.

Para cada célula interferente definimos uma densidade de tráfego duplo-platô de tal forma que

$$P_i = \frac{\rho'_i}{K_i} \delta_0(x, y) + \rho'_i \delta_i(x, y) \quad (7)$$

onde K_i é dado por

$$K_i = \frac{L\rho'_i}{\rho_0} \quad (8)$$

A densidade de tráfego total pode ser escrita como uma função das densidades duplo-platô da seguinte forma

$$\rho(x, y) = \sum_{i=1}^L P_i \quad (9)$$

Note que o PDT é fácil de implementar utilizando as equações desenvolvidas nessa seção. A Figura 4 ilustra o formato de uma função de tráfego do tipo duplo-platô (P_i).

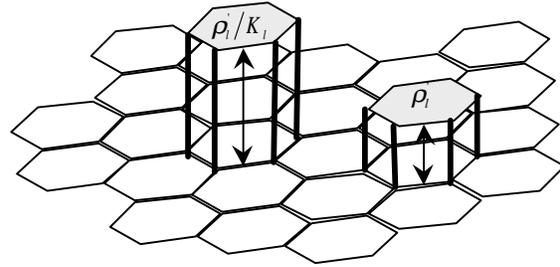


Fig. 4 : Densidade Duplo-Platô (P_i).

2.3 Processo de Avaliação Parcial (PAP)

Dada uma densidade duplo-platô, representada pela variável K_i , a eficiência de reuso parcial da célula alvo pode ser estimada através da seguinte equação [7]

$$F_j^{(l)} = \frac{1}{1 + BK_i} \quad (10)$$

onde $F_j^{(l)}$ é a eficiência de reuso parcial, B é um coeficiente definindo como

$$B = \frac{k'_i}{k'_0} \quad (11)$$

onde k'_i pode ser obtido através da Equação 3 para uma distribuição de tráfego uniforme ($\rho(x,y) = 1$)

$$k'_i = \int_{A_i} C \left(\frac{r_s}{r_t} \right)^\gamma \exp \left[\left(\frac{\sigma \ln 10}{10} \right)^2 \right] \left\{ 1 - \frac{Q \left[\frac{10\gamma \log \left(\frac{r_t}{r_s} \right)}{\sqrt{2\sigma^2}} - \sqrt{2\sigma^2} \frac{\ln 10}{10} \right]}{dA} \right\} \quad (12)$$

O coeficiente B é obtido através de simulação ou através de métodos numéricos. Note que B é função da distância d_l entre a célula alvo e a célula interferente l (como ilustrado pela Figura 5).

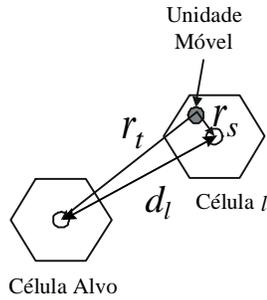


Fig. 5 : Distância d_l entre a célula alvo e a célula interferente l .

As Figuras 6 a 8 mostram as curvas B versus d_l obtidas para diferentes valores de expoente de perda de percurso (γ), e para diferentes desvios padrão (σ). Note que a distância d_l é normalizada pelo raio da célula.

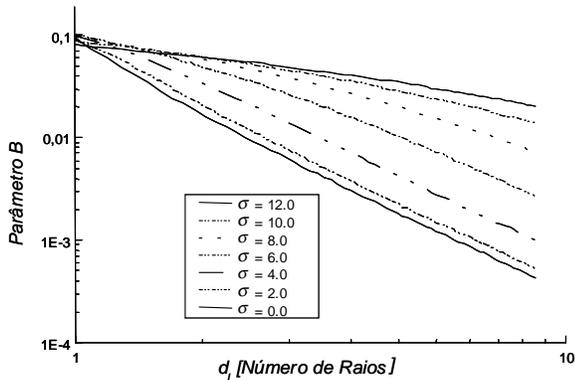


Fig. 6: Curvas padrão para $\gamma = 3$ e diferentes valores de σ .

Com o conjunto de densidade duplo-platô (P_l), e as curvas B versus d_l pode-se obter as eficiências de reuso parciais ($F_j^{(l)}$) que serão utilizadas posteriormente para determinar a eficiência de reuso final da célula alvo.

2.4 Processo de Avaliação Final (PAF)

Com o conjunto de eficiências de reuso parciais obtidas em PAP, nós podemos agora estimar a eficiência de reuso final F_j para a célula alvo. Manipulando convenientemente as Equações 2,3 e 9 obtemos

$$\frac{1}{F_j} = \sum_{l=1}^L \frac{w_l}{F_j^{(l)}} \quad (13)$$

onde w_l são os pesos calculados como

$$w_l = \frac{\int_{A_0} P_l dA}{\sum_{l=1}^L \int_{A_0} P_l dA} \quad (14)$$

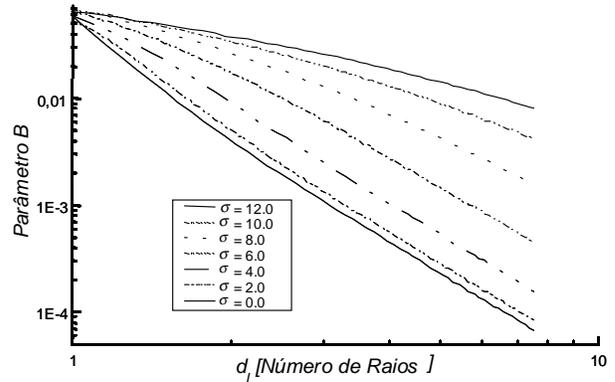


Fig. 7 : Curvas padrão para $\gamma = 4$ e diferentes valores de σ .

A Equação 14 pode ser resolvida de forma exata para dar o seguinte resultado

$$w_l = \frac{1}{L} \quad \forall l \geq 1 \quad (15)$$

Combinando as Equações 15 e 13 temos que

$$\frac{1}{F_j} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{1}{F_j^{(l)}} \quad (16)$$

A escolha conveniente do algoritmo de PDT apresentada neste artigo leva a uma expressão final muito simples para os pesos (Equação 15) e para a eficiência de reuso final (Equação 16) quando comparamos as mesmas equações das referências [1] e [2].

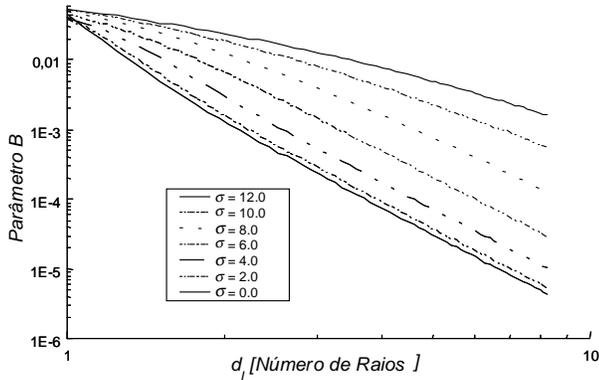


Fig. 8 : Curvas padrão para $\gamma=5$ e diferentes valores de σ .

3. APLICAÇÃO DO NOVO MÉTODO

O método proposto neste artigo foi utilizado para calcular a eficiência de reuso de freqüências das células em um arranjo hexagonal exatamente igual ao das referências [1,2] e os resultados são exatamente os mesmos [1,2]. De forma mais geral, os resultados do método foram sempre validadas através de procedimentos de simulação.

O novo método produz resultados instantâneos (dezenas de milissegundos) enquanto que os processos tradicionais de simulação e integração numérica geram resultados comparativamente infinitos (várias horas).

Um exemplo novo da aplicação da metodologia proposta, é apresentado na Figura 9, onde os números de cima correspondem ao valor da distribuição do tráfego na célula e os valores em baixo (entre parêntesis) são as eficiências de reuso parciais calculadas.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo propusemos uma nova metodologia para o cálculo da eficiência de reuso de freqüências do enlace reverso de sistemas celulares CDMA. O método mantém os benefícios das metodologias publicadas recentemente na literatura internacional [1,2] como resultados precisos e alta performance computacional. Além destas características, o novo método apresenta as seguintes melhorias :

- implementação de software mais simples garantida por equações mais simples, e
- faixa mais ampla de aplicação provida pela eliminação da restrição do layout hexagonal de células.

Acreditamos que este novo método é uma contribuição significativa na direção de um método geral para o cálculo da eficiência de reuso, e como conseqüências, uma contribuição para melhorar as técnicas de planejamento de sistemas CDMA.

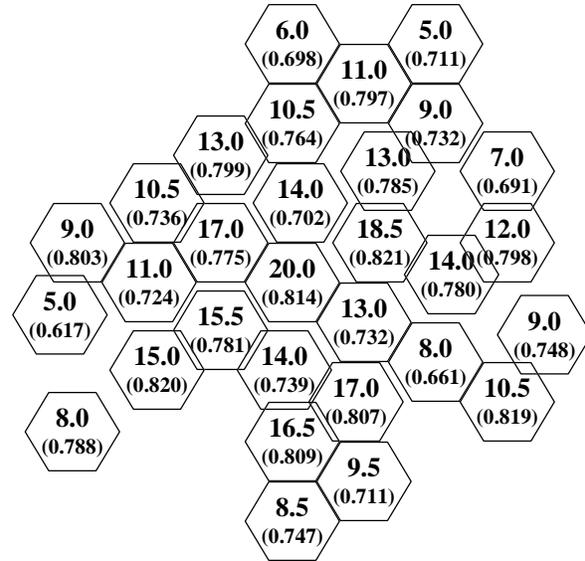


Fig. 9 : Exemplo de aplicação da nova metodologia para um ambiente de propagação com $\gamma = 4$, $\sigma = 8$ dB.

5. REFERÊNCIAS

- [1] C. K. d'Ávila and M. D. Yacoub, "Reuse Efficiency for Non-Uniform Traffic Distributions in CDMA Systems", *Electronics Letters* 34, (13), 199
- [2] C. K. d'Ávila and M. D. Yacoub, "The Linear Method to Evaluate the Frequency Reuse Efficiency of Cellular CDMA Systems", *Proc. of the Globecom'99*, Rio de Janeiro – Brasil, pages 127-131, December 1999.
- [3] Kyoung Il Kim, "CDMA Cellular Engineering Issues", *IEEE Transaction on Vehicular. Technology*, vol. 42 pp 345-349, Ago 1993.
- [4] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, and C. E. Wheatley, "On the Capacity of a Cellular CDMA System", *IEEE Transaction on Vehicular. Technology*, vol. 40 pp 303-312, Mai 1991.
- [5] Samuel C. Yang. *CDMA RF System Engineering*. Artech House Publishers, 1998.
- [6] D. Kwon, E. Shin, J. Kim, and I. Jeong, "Effects of Path Loss and Cell Loading on Frequency Reuse Efficiency and Soft Handoff in CDMA System". *IEICE Transactions on Fundamentals*, vol. E79-A, pp 790-795, Jun 1996.
- [7] C. K. d'Ávila, *Eficiência de Reuso de Freqüências para Perfis Genéricos de Tráfego em Sistemas CDMA* (in Portuguese), Ph.D. Thesis, State University of Campinas, 1998.