

Análise da probabilidade de bloqueio devido ao controle de potência em sistemas CDMA

Renato Batista Pinheiro, Rafael Saraiva Campos e Lisandro Lovisolo

Resumo—Este trabalho apresenta uma abordagem para estimar a probabilidade de bloqueio de chamadas no sistema CDMA a partir da interferência total em cada setor provocada pelos usuários ativos no sistema

Palavras-Chave— CDMA, Interferência, Probabilidade de Bloqueio, Controle de Potência.

Abstract—This work presents an approach to estimate the call blocking probability in the CDMA system from the total interference in each sector, caused by active users in the system.

Keywords— CDMA, Interference, Blocking Probability, Power Control.

I. INTRODUÇÃO

Neste artigo é realizada uma simulação computacional no MATLAB para estimar a distribuição espacial da probabilidade de bloqueio de chamadas e o número máximo de usuários ativos por setor em um sistema CDMA (*Code Division Multiple Access*) [1] considerando apenas o *soft blocking* no enlace reverso como fator limitante. Os mecanismos de controle de potência em malha aberta (*open loop*) e malha fechada (*closed loop*) do padrão IS-95 (*Interim Standard 95*) foram incluídos na simulação. Mapas de predição de cobertura foram utilizados para estimar as áreas de melhor servidor de cada célula.

II. MODELAGEM DO PROBLEMA

Em sistemas CDMA, o ganho de processamento G_p exprime a melhoria da razão sinal ruído na saída do correlator relativamente a sua entrada. O cálculo do ganho de processamento é feito a partir da razão entre a taxa de chips R_c e a taxa de bits R_b do sinal em banda básica multiplicada pelo fator de atividade de voz F_{av} :

$$G_p(dB) = 10 \log [R_c / (R_b \cdot F_{av})] \quad (1)$$

A potência de ruído térmico, na ausência de interferências adicionais em relação ao ruído térmico (N_r - *noise rise*), é dada por:

$$P_o(dBm) = N_o + F_r + 10 \log (B) \quad (2)$$

onde N_o é a densidade espectral de ruído térmico em dBm/Hz, F_r é o fator de ruído do receptor em dB e B é a largura de banda da portadora CDMA em Hertz. A sensibilidade do receptor da ERB (Estação Rádio Base), considerando apenas o ruído térmico, é dada por:

$$S_o(dBm) = P_o + E_b/N_o - G_p \quad (3)$$

Renato Batista Pinheiro, Rafael Saraiva Campos e Lisandro Lovisolo, Faculdade de Engenharia, Programa de Engenharia Eletrônica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, E-mails: renatobpinheiro@yahoo.com.br, rafael_saraiva@ig.com.br, lisandro@uerj.br.

onde E_b/N_o é a razão sinal-ruído mínima em dB do sinal banda básica para que ocorra recepção sem erro.

A área de teste foi dividida em quadrados com largura r metros, referidos neste trabalho como *pixels*. Seja então o i -ésimo *pixel* localizado na área de melhor servidor do j -ésimo setor. No enlace direto, a perda total no enlace entre a antena transmissora do setor j e o *pixel* i é dada por:

$$L_{i,j}(dB) = TX_j - RX_{i,j} \quad (4)$$

onde $RX_{i,j}$ é a potência em dBm recebida no *pixel* i do setor j e TX_j é a potência de transmissão da antena do setor j em dBm. Assumiu-se que as perdas nos enlaces direto e reverso são iguais.

A potência de transmissão mínima, i.e, na ausência de carregamento e interferências externas, necessária para uma estação móvel (EM) situada no *pixel* i comunicar-se com o setor j é dada por:

$$P_{min}(dBm) = L_{i,j} + S_o \quad (5)$$

A potência interferente total aumenta com a admissão de novos usuários no sistema. Isso exige uma elevação da potência de transmissão dos móveis ativos, a fim de manter a razão sinal-ruído constante. Porém, devido ao limite máximo da potência de transmissão da EM, o sistema deve bloquear um novo usuário caso o efeito dessa nova interferência exija uma potência de transmissão superior à P_{max} de pelo menos uma EM ativa no sistema. A potência interferente total no j -ésimo setor, proveniente das EMs ativas neste setor, é dada por:

$$R_j(dBm) = 10 \log \sum_{i=1}^{n_j} (n_i \cdot p_i \cdot 10^{-0,1 \cdot L_{i,j}}) \quad (6)$$

onde p_i é a potência de transmissão (mW) das EMs no *pixel* i , n_i é o número de EMs ativas no *pixel* i e n_j é o número de *pixels* com usuários ativos no setor j .

O *noise rise* N_r no j -ésimo setor é calculado considerando, além da potência interferente R_j dos usuários na mesma célula, a interferência proveniente dos usuários ativos nos setores vizinhos. Esta interferência adicional é representada através do fator de eficiência de reuso de frequência $F_{r,f}$ [2]. O *noise rise* no setor j é dado por:

$$N_r(dB) = 10 \log \left[\frac{10^{0,1 \cdot R_j} + 10^{0,1 \cdot P_o}}{F_{r,f} \cdot 10^{0,1 \cdot P_o}} \right] \quad (7)$$

A sensibilidade do receptor no j -ésimo setor, considerando a interferência inter-usuários no enlace reverso, é dada por:

$$S(dBm) = S_o + N_r \quad (8)$$

Portanto, verifica-se que a sensibilidade depende do valor de N_r , que varia com o número de usuários ativos no setor e suas potências de transmissão. De posse dessas equações, pode-se calcular a quantidade de usuários admitidos no sistema, tendo como fator limitante a interferência total no enlace reverso em cada setor.

III. APLICAÇÃO PRÁTICA

Para aplicar o procedimento descrito, utilizou-se uma área quadrada de 4,84 km² no Centro do Rio de Janeiro, ilustrada na Fig. 1. Esta região foi dividida em *pixels* de 5 × 5 m². Através do software de planejamento de cobertura PLANET, foram identificados os setores melhores servidores e os respectivos níveis de sinal recebidos em cada *pixel*. Foram simuladas tentativas de comunicação dos usuários com as estações base de modo aleatório, utilizando o método Monte Carlo no MATLAB. A densidade superficial de usuários foi considerada uniforme sobre a área de teste. Assim, a probabilidade de existir um usuário em um dado *pixel* é dada por:

$$P_{us} = D_{us}/D_p \quad (9)$$

onde D_{us} é a densidade de usuários (usuários/km²) e D_p é a densidade de *pixels* (*pixels*/km²).

A dinâmica da simulação consiste em varrer aleatoriamente todos os *pixels* do sistema, verificando se há tentativa de acesso por estações móveis localizadas nos *pixels*. À medida que cada usuário acessa o sistema, sua transmissão provoca um aumento na interferência total do setor. Para não exceder o limite de interferência admitido pelo sistema, verifica-se a repercussão da interferência provocada por cada tentativa de entrada (isto é, por um novo usuário) nos usuários já conectados ao sistema. A admissão de novos usuários em cada célula é bloqueada quando se verifica que a interferência provocada por um novo usuário implicaria na queda da chamada de um usuário ativo na mesma célula.

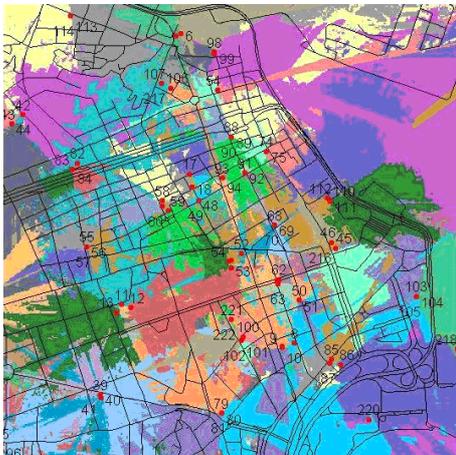


Fig. 1. Mapa com as áreas de melhor servidor preditas.

IV. RESULTADOS

Com base no que foi visto anteriormente, pode-se calcular a probabilidade de bloqueio $P_{b,i}$ no i -ésimo *pixel* através de:

$$P_{b,i} = U_{b,i}/U_{s,i} \quad (10)$$

onde $U_{s,i}$ é a quantidade de simulações em que há usuários no i -ésimo *pixel* tentando acessar o sistema e $U_{b,i}$ é a quantidade de usuários bloqueados dentre as tentativas realizadas neste *pixel*. As considerações e parâmetros de entrada adotados, típicos de um sistema CDMA IS-95 [3], são listados a seguir: **i)** perdas de propagação iguais nos enlaces direto e reverso, calculadas pelo modelo de Okumura-Hata [4]; **ii)** temperatura

de operação do sistema 300 K; **iii)** $R_b = 9600$ bits/s; **iv)** $R_c = 1,2288$ Mcps; **v)** $F_{av} = 0,5$; **vi)** $F_{r,f} = 0,68$; **vii)** $N_o = -174$ dBm/Hz; **viii)** $F_r = 5$ dB; **ix)** $B = 1,2288$ MHz; **x)** frequência central da portadora 875 MHz.

Foram escolhidos dois cenários distintos para as simulações. No primeiro cenário, utilizou-se E_b/N_o alvo de 7 dB e densidade de usuários de 2.500 usuários/km². No segundo cenário, utilizou-se E_b/N_o alvo de 10 dB e densidade de usuários de 10.000 usuários/km². Foram realizadas 1.000 simulações em cada cenário. A Fig. 2 mostra os mapas da probabilidade de bloqueio por *pixel* para os dois cenários. Observa-se uma elevação da probabilidade de bloqueio de acesso em torno de 20 a 30 % na área de teste, ao quadruplicar-se a densidade superficial de usuários e dobrar-se a relação sinal ruído alvo. Para as condições de carregamento simuladas, observa-se extensas áreas com elevada probabilidade de bloqueio. Em tais casos, ações globais para ampliação de capacidade, como acréscimo de portadoras CDMA, ou pontuais, como ativação de novas ERBs, podem ser adotadas para melhorar o acesso na interface aérea.

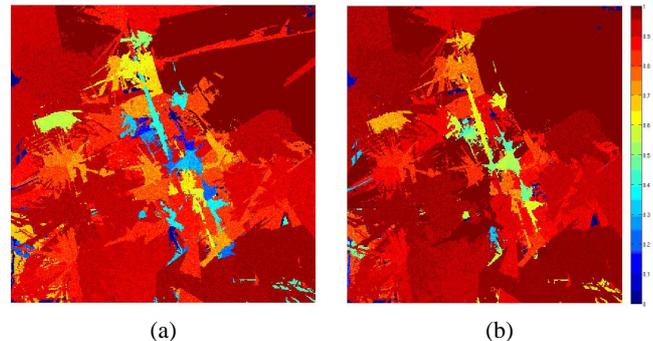


Fig. 2. Mapas de probabilidade de bloqueio de acesso.

V. CONCLUSÃO

Através do algoritmo apresentado neste trabalho pode-se estimar a probabilidade de bloqueio e a quantidade de usuários aceitos em cada setor, considerando como fator limitante a interferência inter-usuários no enlace reverso, atualizada a cada nova tentativa de admissão na interface rádio.

Na área estudada nota-se que a probabilidade de bloqueio de chamada em alguns setores é muito elevada. Os mapas de probabilidade de bloqueio de acesso por *pixel* facilitam a identificação de áreas problemáticas, auxiliando na escolha de ações de otimização da rede de acesso rádio.

Com algumas modificações, o algoritmo aqui apresentado pode ser aplicado também em redes WCDMA (Wideband CDMA).

REFERÊNCIAS

- [1] Samuel C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 1998.
- [2] Lawrence Harte, *CDMA IS-95 for cellular and PCS*, McGraw-Hill Professional, 1999.
- [3] Robert Akl, Manju Hegde e Alex Chandra, *CDMA Capacity Allocation and Planning*, Washington University, 1998.
- [4] Simon Haykin e Michael Moher, *Modern Wireless Communications*, Prentice Hall, 2004.