Políticas de Hand-off com Balanceamento de Carga para Computação Móvel

A. Santiago, A. Goldman
Departamento de Ciência da Computação
Instituto de Matemática e Estatística - USP
{santiago, gold}@ime.usp.br

Abstract

Usually the hand-off is done when the mobile units move from one base station to other. As there exist regions where more than one base station is available we propose a new scheme where the hand-off can be initiated by the base stations. The goal of this scheme is to balance the load among the base stations.

Resumo

Nos modelos tradicionais de alocação de canais, o *hand-off* é feito a partir da movimentação das unidades móveis. Como existem áreas de intersecção onde sinais de mais de uma base estão disponíveis, nós propomos novas políticas onde o *hand-off* também pode ser realizado por iniciativa das bases, com o objetivo de balancear o número de UMs entre as bases.

1 Introdução

Nos últimos anos os avanços na área de computação móvel superaram muitas expectativas. O aumento de potencial e popularidade dos dispositivos portáteis (PDAs, palmtops, e Hand-Helds), a grande ascensão das telecomunicações, incluindo a grande utilização de redes celulares, foram alguns dos motivos que alavancaram este processo. Várias pesquisas e novos produtos surgem para suprir as necessidades do mercado, mesmo considerando que alguns produtos são confeccionados em caráter de emergência para acompanhá-lo. Novos tipos de redes de celulares emergem com mais e mais recursos, mas cada vez mais usuários estão se integrando a esta tecnologia, exigindo novas técnicas para otimizar a utilização destes recursos.

O conceito de computação móvel está ligado ao fato de não haver ligação física entre as Unidades Móveis (UMs) e a rede fixa, o que permite uma grande liberdade de movimentação. A comunicação é feita por rádio através de Estações Rádio Bases (ERBs). As quais devem estar espacialmente distribuídas de forma a prover uma grande área de cobertura, de preferência sem a existência de regiões sem sinal. Atualmente as redes móveis apresentam como tendência, as micro ou pico células [9], que tem menor abrangência geográfica oferecendo mais recursos nas áreas de atuação. As comunicações entre as UMs e as ERBs, se dão através de ondas eletromagnéticas, e nestas são formadas os canais de comunicação. Os sistemas móveis também sofrem com o limite de espectro de freqüências disponível para canais de rádio, este problema limita a quantidade de canais assim como a sua banda passante. Limitando assim, a taxa de transmissão conseguida por usuário bem como o número total de usuários admitidos no sistema simultaneamente. Nestes sistemas os canais de rádio são os recursos primordiais para estabelecer a conexão dos usuários com a rede fixa. Além disso a utilização eficiente dos canais sempre constituiu um fator importante para a Qualidade de Serviço(QoS) dos sistemas.

Os canais são definidos a partir do espectro de freqüência, através das técnicas de compartilhamento do meio de comunicação [11]. Os canais são gerenciados de forma a atender a demanda dos usuários utilizando-se o princípio da reutilização de freqüências. Com a limitação do número de canais disponíveis mais do que uma ERB utiliza o mesmo grupo de frequências para a comunicação com as UMs, entretanto para que isso seja viável é preciso respeitar uma distância mínima entre as ERBs que utilizam o mesmo grupo de freqüências. Esta distância pode ser calculada considerando a interferência co-canal. Como padrão para este cálculo usa-se a degradação da relação sinal sobre interferência, onde a interferência é composta por outros sinais, e sinais com a mesma característica. Geralmente, para efeito da alocação dos canais é utilizado como parâmetro a distância mínima de reuso, que corresponde a menor distância física para o uso de dois canais com as mesmas características. Neste artigo, o conceito de canal empregado é independente do método de acesso ao meio (FDMA, TDMA ou CDMA). Os canais serão vistos como recurso limitado, os quais devem ser utilizados eficientemente.

O processo de distribuição de canais para cada ERB deve ser otimizado, sendo cada base a responsável de fornecer um ou mais de seus canais disponíveis para cada dispositivo móvel localizado em sua área de abrangência. Com o quadro de micro/pico células existe uma maior possibilidade de uma UM migrar de uma região, regida por uma ERB para outra. Assim como uma maior preocupação em manter a conexão durante estas transições. Exemplificando: quando uma nova chamada é efetuada e esta não obtem um canal para sua conexão, diz-se que o "tempo atual de permanência da chamada" (TAPC) é zero. Quando uma nova chamada consegue um canal e completa a ligação até o fim do serviço, caracteriza-se como "tempo requerido de permanência de chamada" (TRPC) o tempo total desta ligação, que neste caso também é igual a TAPC (Figura 1). Existe ainda a situação em que uma chamada consegue um canal, mas a unidade movimenta-se e entra na área de atuação de outra ERB, gerando um processo chamado *hand-off*. Neste processo há uma negociação de um novo canal para esta unidade, e se por ventura não há disponibilidade de um canal, então a ligação é interrompida, neste caso considera-se $0 < TAPC < TRPC$ [10].

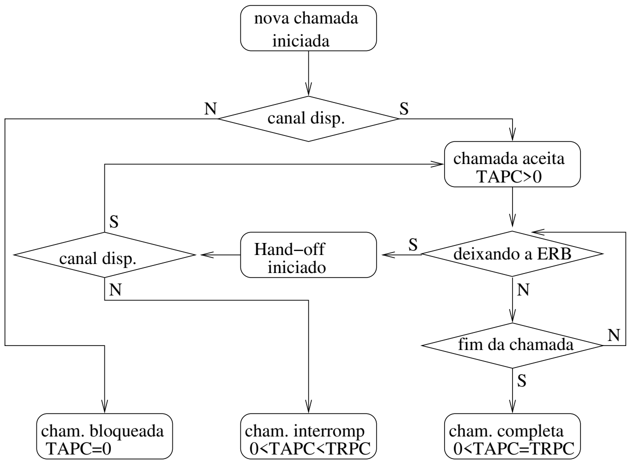

Figura 1. Diagrama de comunicação de UM.

Estratégias de alocação de canais devem seguir a linha do paradigma de conexão a "qualquer lugar e a qualquer momento". Neste documento relatamos técnicas para alocação de canais, e propomos algumas otimizações.

2 Alocação de Canais

Várias técnicas de alocação de canais podem ser encontradas na literatura [8], todas com o objetivo de conseguir um gerenciamento eficiente na distribuição dos recursos. Basicamente as técnicas de alocação são caracterizadas por dois extremos: Alocação Fixa de Canais e Alocação Dinâmica de Canais, incluindo neste conjunto uma combinação das duas, a Alocação Híbrida de Canais.

2.1 Alocação Fixa

Nas estratégias com Alocação Fixa de canais (AFC) os canais são distribuídos entre as células de forma que cada uma possui seu grupo exclusivo de canais. Esta distribuição de canais deve seguir o critério da distância mínima de reuso. Existem basicamente duas estratégias de distribuição: uniformes, ou não uniformes. Nas estratégias uniformes, o mesmo número de canais é distribuído para todas as ERBs. Nas estratégias não uniformes, cada ERB pode ter um número diferente de canais, dependendo do dimensionamento de demanda da região onde ela se encontra. Este tipo de alocação depende fortemente de um processo de planejamento de freqüências durante a instalação e não é capaz de se adaptar dinamicamente às variações de tráfego.

2.2 Alocação Dinâmica

Nas técnicas com Alocação Dinâmica de Canais (ADC) todos os canais podem ser usados por qualquer célula, desde que seja mantida a distância mínima de reuso. Os algoritmos ADC podem ainda ser classificados como centralizados ou distribuídos. Nos centralizados, um conjunto de canais é mantido por um controlador central o qual possui informações sobre todos os canais do sistema. Este controlador aloca temporariamente os canais conforme a necessidade das ERBs. Nos esquemas distribuídos a decisão de qual canal alocar é tomada por cada uma das ERBs utilizando informações locais sobre os canais disponíveis nas células vizinhas [8]. Apesar dos benefícios das técnicas ADC no que se refere a utilização eficiente e a adaptabilidade às variações do tráfego, estas apresentam deficiências em situações de alto tráfego. Outra consideração está na dificuldade de implementação de soluções ADC, devido a sua complexidade [4].

2.3 Alocação Híbrida

Apesar das grandes vantagens aparentes da alocação dinâmica de canais, em situações com muito tráfego, principalmente se o mesmo for uniforme, a alocação fixa de canais tem melhor desempenho [8]. Isto ocorre devido ao fato de com a ADC, as distâncias entre ERBs com canais de mesmas características, são em média bem maiores que as distâncias mínimas de reuso.

Na alocação híbrida as estratégias de Alocação Fixa e Dinâmica são combinadas para obter um bom desempenho em diversas situações de tráfego, uniforme ou não. Neste caso o número de canais disponíveis são divididos entre conjuntos fixos e dinâmicos, sendo eles trabalhados de forma análoga aos esquemas anteriores.

3 Modelo Sugerido

Nesta seção apresentamos a motivação e o detalhamento de um modelo que considera a intersecção de áreas de atuação de ERBs vizinhas. O principal objetivo desse modelo, é maximizar a possibilidade que uma conexão seja mantida do inicio até o fim desejado pelo usuário, sem interrupções e independente da mobilidade da UM. Em grande parte dos trabalhos da literatura, as áreas de alcance das ERBs são consideradas disjuntas. Quando uma UM se dirige de uma área a outra, e atravessa a fronteira é necessario efetuar o *hand-off*. Entretanto, pode ser que o sinal da ERB inicial ainda fosse de boa qualidade. Podemos ver na figura 2 o funcionamento do modelo tradicional. No caso da UM em movimento, representada à esquerda, quanto mais próximo a uma ERB, melhor a qualidade de sinal. A área de atuação de cada ERB é representada por um hexágono. A fronteira entre as ERBs é representada por uma linha, isto é, a intersecção de regiões com sinal aceitável é considerada nula. Esta região de *hand-off* está representada na Figura pelo quadrado cinza.

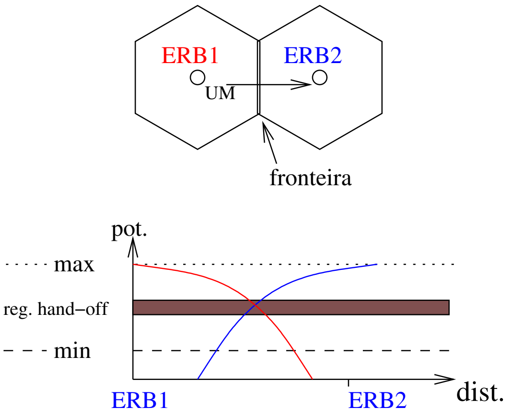

Figura 2. Diagrama de Nível de sinal no modelo tradicional

Em termos práticos a fronteira entre ERBs pode ser definida observando-se a potência do sinal recebido. A região de atuação de uma ERB é determinada pelo espaço em que a potência do seu sinal é maior do que a potência de sinal das outras ERBs. Do ponto de vista da UM, o *hand-off* deve ser feito quando a diferença entre a potência de sinal de uma outra ERB e a potência do canal em uso for maior do que um dado limiar. Pode-se usar este limiar para evitar que ocorram vários *hand-offs* desnecessários quando uma UM se movimenta próxima a fronteira de duas ERBs.

Observando que o sinal da ERB1 continua satisfatório até o ponto de nível mínimo de sinal podemos definir uma outra política de *hand-off*. Nesta outra política uma UM efetua o *hand-off* apenas quando o sinal do canal utilizado chega ao nível mínimo exigido para a comunicação. Entretanto, para garantir que nenhuma UM fique com um sinal muito próximo do nível mínimo, definimos um limite para *hand-off*, onde mesmo se o sinal continuar satisfatório, o *hand-off* para uma outra base mais forte deve ser iniciado.

Nesta segunda política, o número de *hand-offs* de uma UM, durante a sua movimentação, pode ser reduzido. Isto pode ser visto na Figura 3, onde uma UM faz um movimento "tangente" a região hexagonal da ERB2. Neste caso, a UM teria que efetuar três trocas de base com a política tradicional, e nenhuma com a esta segunda política.

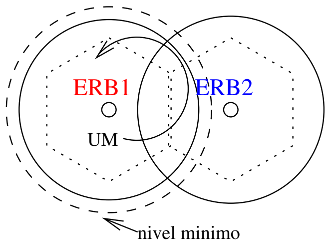

Figura 3. UM com trajetória tangente a ERB2.

Para as duas políticas apresentadas o *hand-off* depende apenas da mobilidade da UM, e é esta que decide se muda de base. Entretanto, conforme podemos ver na Figura 4, existe uma região de *hand-off*, onde cada UM pode utilizar tanto uma ERB quanto outra.

A idéia básica do modelo, consiste em aproveitar a existência de regiões geográficas que podem ser atendidas por mais de uma ERB (uma idéia semelhante foi utilizada em [6]). A decisão de transferir uma UM, em uma região de intersecção, fica a cargo da ERB que estiver responsável por esta UM. Além disto, em situações reais, uma porcentagem razoável das UMs está em áreas de intersecção, segundo [5] de 30 a 45%. Cabe

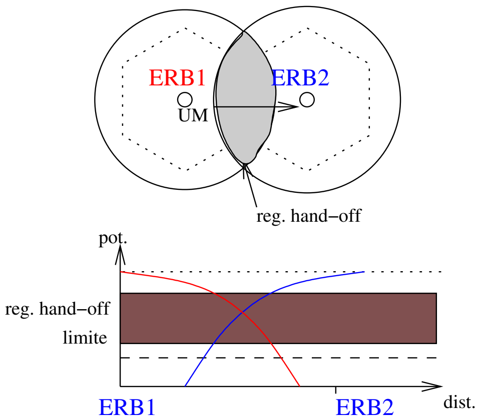

Figura 4. Diagrama de Nível de sinal no modelo com intersecção

então ao modelo estipular uma estratégia para repartir as UMs em áreas de intersecção.

De forma a armazenar de forma eficiente em cada ERB suas regiões de intersecção, utilizaremos um grafo de adjacência. Assim, a partir de informações dos níveis de potência de sinal que cada UM está recebendo, pode-se deduzir facilmente a sua localização. Usamos, um grafo bipartido cujos nós representam tanto as regiões geográficas (nó negro) como as ERBs (nó branco). As arestas representam a possibilidade de conexão com a ERB na região em questão (Figura 6). Uma célula pode ser dividida em várias regiões: regiões de intersecção entre células vizinhas e a região atendida por uma única ERB (Figura 5).

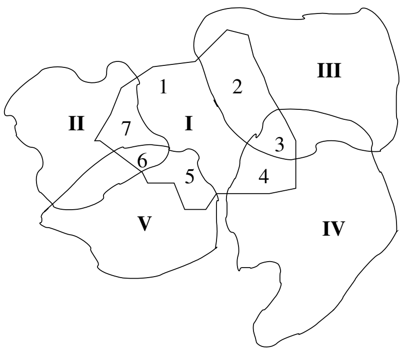

Figura 5. Distribuição da área de abrangência de ERB´s vizinhas.

Cada UM estará associada a somente um nó preto (região) e um nó branco (ERB), assim conseguimos identificar dentro do grafo, a posição da UM. Para que isto seja possível, consideramos que uma UM informa a ERB quais sinais está recebendo (estratégia também

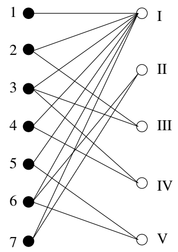

Figura 6. Representação das relações de adjacência entre regiões e ERBs por um grafo bipartido

utilizada em [9]), conforme a tabela 1. Com os dados desta tabela a ERB que estiver conectada a UM pode deduzir qual nó negro, isto é, em qual região a UM está localizada.

ERB	Potência do Sinal
I	90db
II	70db
V	80db

Tabela 1. Tabela de Níveis de Sinais

Todo processamento relativo a transferência de UMs será realizado de forma distribuída nas ERBs. Uma UM pode mudar de ERB em dois casos: Primeiro no caso de mobilidade da UM, quando o sinal da ERB na qual a UM está conectada chega ao limite para o *hand-off* (ver Figura 4). Segundo em caso de balanceamento de carga sob ordem de uma ERB, este caso ocorre quando uma ERB está utilizando mais canais que ERBs vizinhas e existem UMs em áreas de intersecção com ERBs vizinhas menos carregadas. Veremos mais para frente a definição de diversas políticas de transferências. No primeiro caso o sistema móvel não tem outra alternativa, a não ser aceitar a solicitação, já no segundo caso serão consideradas algumas características do ambiente móvel, para decidir se haverá necessidade de "forçar" um *hand-off* e para qual ERB deverá ir esta UM.

Outro tipo de informação que será levado em consideração será o estado atual da capacidade de uso de cada ERB, sendo esta a grande variante na decisão de haver ou não um *hand-off* "imposto". Esta informação pode ser tanto ralativa quanto absoluta. Com relação a alocação de novos canais, as opções de ERBs a qual uma UM possa associar-se, dependerá da região onde ela se encontra, isto é, se na região onde se encontra existirem uma ou mais ERBs atuando.

Através da representação das relações de adjacência com um grafo, pode-se descobrir facilmente as UMs que obedecem certos critérios. Para isto os nós que representam as regiões também devem guardar uma lista com as UMs na região. Esta atualização pode ser feita com informações fornecidas pelas próprias UMs (através de um *lockup update*, ou mesmo durante a comunicação). Desta forma, uma ERB que deseja transferir uma UM, pode escolher a ERB vizinha que obedeça aos critérios escolhidos.

4 Balanceamento de carga

No modelo apresentado, existem áreas de intersecção, onde os sinais de mais de uma ERB estão disponíveis para a comunicação com a UMs. Nesta seção apresentaremos diversas estratégias para a escolha de ERB que atenderá as UMs nestas áreas.

Nas estratégias propostas, todo o processamento relativo ao balanceamento de carga será feito nas ERBs, de forma distribuída. Esta escolha foi motivada por duas razões: de um lado não se pode garantir que a UM terá capacidade de processamento, nem que a UM permanecerá conectada durante todo o procedimento de balaceamento. Por outro lado, mesmo que a comunicação entre as ERBs, através de uma rede fixa, seja muito rápida a concentração de todo o balanceamento em um único servidor pode limitar as possibilidades de uso prático do modelo.

Apesar do modelo com intersecções poder ser usado tanto com alocação fixa como dinâmica de canais, neste trabalho limitaremos o estudo ao caso da alocação fixa de canais.

Em [6], utiliza-se de uma idéia semelhante, porém as estratégias empregadas para escolha das UM que deverão migrar, baseam-se basicamente no nível de sinal das ERBs e na existência de canais livres nas ERBs vizinhas. Com estes critérios, mesmo ampliando a capacidade do sistema, poderia existir um desgaste do sistema. Para esclarecer podemos mencionar algumas situações, como: a UM escolhida para hand-off poderia ser uma UM que está em movimentação, e portanto esta possui uma probabilidade maior de realizar outro *hand-off* devido a sua mobilidade momentânea; a UM poderia migrar para uma ERB que tem um numero menor de canais livres do que outra ERB vizinha, já que o critério exige apenas que existam canais livres; as estratégias só seriam usadas em caso de exaustão da ERB.

Proporemos a seguir estratégias de balanceamento de carga, objetivando uma maior performance do sistema.

4.1 Carga crítica

Neste caso definimos, para cada ERB, um limite de carga crítica. A definição de carga se dará através de percentuais relativos a capacidade de cada ERB. Os valores adequados deverão ser determinados através de simulações. Caso uma ERB atinja a carga crítica esta deve consultar para cada ERB vizinha o seu estado de carga. Caso exista uma UM em uma área de intersecção com uma ERB abaixo do limite, a UM deve ser transferida [1]. Vários critérios podem ser utilizados para a escolha desta UM, entre eles:

- ERB vizinha com menor carga - Neste caso, a ERB encontra, para todas as UMs em áreas de intersecção, a UM que poderá ser transferida para a ERB vizinha com mais canais disponíveis;

Require: $c(e)$, função que retorna a carga da ERB e;
Ordene as ERBs vizinhas em ordem crescente de carga;
e =primeira ERB; a = esta ERB;
while não encontrou uma UM **do**
  if $\exists$ UM na intersecção com e AND $c(e) < c(a)$ **then**
    encontrou, transfira esta UM para a ERB e
  else
    if e =última ERB **then**
      cancela a operação (excesso de carga)
    else
      e =próxima ERB
    end if
  end if
end while

- UM com menos mobilidade - Neste caso, a ERB consulta qual UM, em área de intersecção está parada a mais tempo. Os dados necessários a esta consulta podem ser facilmente disponibilizados. Para isto, as ERBs podem manter um registro das últimas ERBs utilizadas por cada UM, assim como o tempo de utilização, ou mesmo manter um registro com o período da última movimentação da UM. Na própria referência a UM que possuem as regiões, podem ser guardados, por exemplo, a ERB e região na qual a UM esteve nas últimas três unidades de tempo. Na própria atualização as UMs podem ser ordenadas em ordem decrescente de mobilidade. Estas informações podem ser transferidas entre ERBs quando ocorrem os *hand-offs*;

[1] O *hand-off* é compulsório.

```
Require: c(e), função que retorna a carga da ERB e;
  Ordene as UMs em ordem decrescente de mobilidade;
  u =primeira UM; a = esta ERB;
  while não encontrou uma UM do
    for e =adjacente a região da UM u do
      if c(e) < c(a) then
        encontrou, transfira esta UM para a ERB e
      end if
    end for
    if u =última UM then
      cancela a operação (excesso de carga)
    else
      u =próxima UM
    end if
  end while
```

- Distribuição de carga entre ERBs vizinhas - Para isto, a ERB escolhe entre as UMs em área de intersecção, a ERB vizinha abaixo do limite àquela que a mais tempo não recebe UMs. Desta forma é feito para cada ERB, um rodízio das ERBs vizinhas.

```
Require: Uma ordem prx() das ERBs vizinhas;
  e =primeira ERB (executado apenas da primeira vez)
  e1 = e;
  while não encontrou uma UM do
    e1 = prx(e1);
    if  existe UM na intersecão com a ERB e1 AND c(e) < c(a) then
      e = e1;
      encontrou, transfira esta UM a para ERB e
    end if
    if e1 = e then
      cancela a operação (excesso de carga)
    else
      e1 = prx(e1)
    end if
  end while
```

Para todos os algoritmos pode-se adequar um limiar de transferência de carga, de modo que os testes do tipo $c(e) < c(a)$ sejam substituidos por $c(e) + K < c(a)$. O melhor valor de K deve ser determinado experimentalmente.

4.2 Balanceamento permanente

Neste caso, o balanceamento ocorre todo o tempo, sempre que uma ERB detecta que tem k UMs a mais do que uma de suas vizinhas ocorre o balanceameto. A escolha da UM a ser, ou a serem, transferida pode seguir os mesmos critérios anteriores.

5 Simulação

Neste artigo apresentamos os resultados iniciais de simulação que obtivemos. Nestes resultados iniciais, comparamos políticas sem e com balanceamento. No caso sem balanceamento, as UMs efetuam o *hand-off* quando encontram uma ERB com sinal melhor. Dois casos foram simulados, um no qual quando o *hand-off* é bloqueado e a conexão é perdida (`pol1`), e outro no qual a UM continua com o sinal viável, se existir (`pol2`). A política com balanceamento é utilizada sempre que uma ERB chega a utilização máxima de seus canais (`pol3`).

Para efeito de simulação, uma região foi dividida em pequenas regiões quadradas (micro-áreas), e a diminuição do sinal de cada ERB é linear com relação a distância. No quadro abaixo mostramos a propagação de sinal de uma ERB instalada na coordenada (5,5) com potência de $5db$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	1	2	1	1	0	0
3	0	1	2	2	3	2	2	1	0
4	0	1	2	3	4	3	2	1	0
5	1	2	3	4	5	4	3	2	1
6	0	1	2	3	4	3	2	1	0
7	0	1	2	2	3	2	2	1	0
8	0	0	1	1	2	1	1	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Nas simulações utilizamos uma área de 80×80, com 6400 micro-áreas, e 9 ERBs que foram colocadas nas seguintes coordenadas:

```
ERB1->Install(15,15,20);
ERB2->Install(40,15,20);
ERB3->Install(75,15,20);
ERB4->Install(15,40,20);
ERB5->Install(40,40,20);
ERB6->Install(75,40,20);
ERB7->Install(15,75,20);
ERB8->Install(40,75,20);
ERB9->Install(75,75,20);
```

Com esta configuração obtemos em média, uma região de intersecção de no máximo 15 micro-áreas entre duas ERBs. Consideramos a potência da ERB como sendo $20db$. O nível mínimo aceitável para a simulação foi considerado $2db$; abaixo deste nível a comunicação não é possível. Cada ERB possui 30 canais.

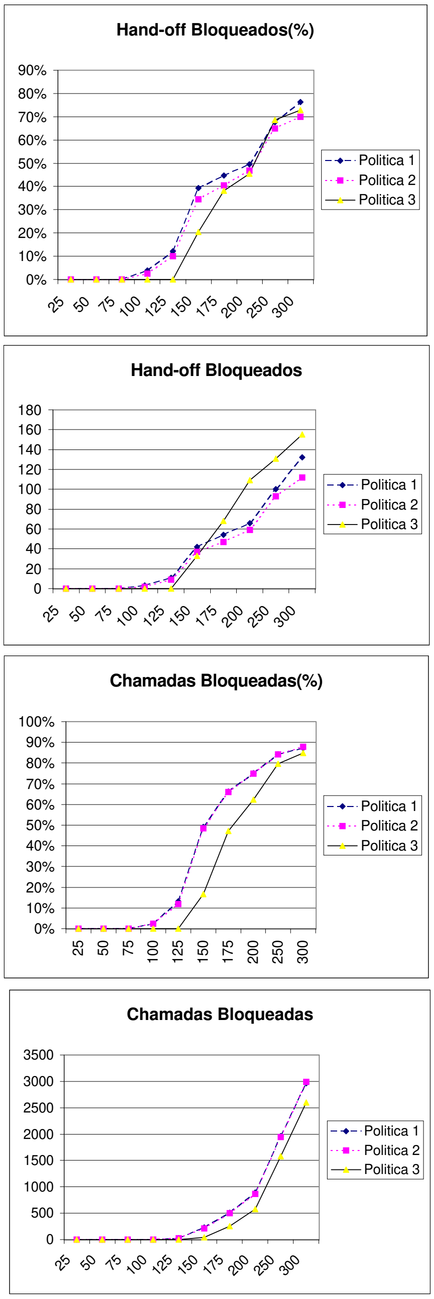

Figura 7. Gráficos de Avaliação.

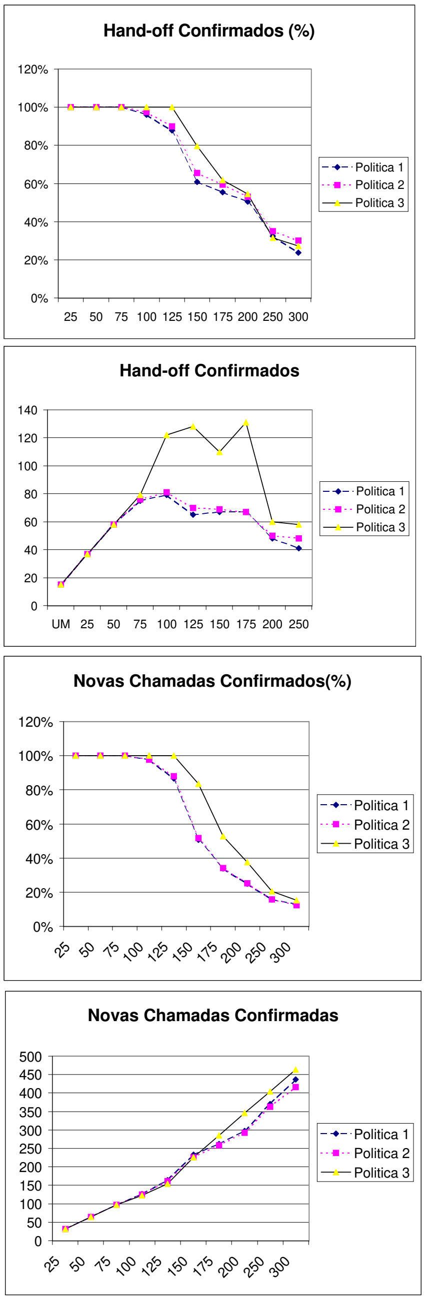

Figura 8. Gráficos de Avaliação.

Com relação as UMs, cada uma recebe origens e destinos aleatórios, e sua movimentação obedece uma linha reta da origem ao destino. Chegando ao destino a UM fica parada. A simulação acaba quando todas as UMs chegam aos seus destinos. Caso uma UM, seja desconectada (*hand-off* bloqueado), ela continua sua movimentação, tentando realizar novas chamadas. O balanceamento também é utilizado no caso de novas chamadas.

Nas Figuras 7 e 8, mostramos os resultados utilizando as métricas de hand-off confirmados e bloqueados, e novas chamadas confirmadas e negadas, incluimos também a relação percentual das métricas visto que cada política permite um numero diferente de conexões ativas e inativas.

Na primeira simulação, podemos ver o número de *hand-offs* bloqueados conforme variamos o número de UMs de 25 a 300. Podemos ver o bom comportamento da `pol3` para até 125 UMs. Quando o número de UMs é maior, o sistema chega perto do ponto de saturação, mas como as UMs conseguem se reconectar, ocorre um maior número de bloqueios.

Por outro lado, podemos ver que o número de novas chamadas com sucesso, geradas tanto por novas chamadas como por chamadas que foram bloquedas, é bem maior com a `pol3`. Este comportamento pode ser visto na Figura 7 (gráfico de novas chamadas confirmadas).

Ainda podemos ver que apesar do número crescente de chamadas bloqueadas (principalmente próximo a saturação do sistema), a comportamento da política `pol3`, ainda é bom com relação as outras.

6 Conclusão

Neste trabalho foram apresentadas várias alternativas para políticas de *hand-off* que consideram as áreas de intersecção entre as coberturas das ERBs. Estas alternativas estão baseadas no fato de um *hand-off* poder ser iniciado por uma base, e não apenas devido a mobilidade das UMs. Com o uso desta nova possibilidade, pode-se distribuir melhor as UMs entre as ERBs, consequentemente oferecendo um novo grau de liberdade com relação a alocação de canais. Através das simulações apresentadas, mostramos benefícios que podem ser obtidos com a utilização deste novo grau de liberdade.

6.1 Trabalhos futuros

Para verificar os possíveis ganhos utilizando esta política de balanceamento de carga, pretendemos efetuar as seguintes simulações.

1. Realizar a simulação dentro de padrões de mobilidade de usuários, como vistos em [1], [2].
2. Comparar o modelo de alocação fixa de canais puro com as políticas usuais, com a política de balanceamento de carga, usando diferentes políticas de escolha de UMs, variando o tráfego assim como a sua distribuição.
3. Em seguida, para uma comparação mais realista, consideraremos o custo da intersecção, isto é, se aumentarmos a potência dos sinais das ERBs até um nível compatível com as UMs, então aumentaremos as regiões de intersecção, mas como consequência poderemos ter uma maior interferência entre canais (com consequente diminuição da distância de reuso). Com estes fatores avaliaremos o custo/benefício do uso das intersecções.

Referências

[1] B. Alencar. Um modelo de mobilidade de usuários para redes de comunicação móvel celular. Master's thesis, Dissertação de Mestrado, Centro de Informática UFPE, mar 1999.

[2] D.A. Cavalcanti, J. Kelner, and D. Sadok. Variações temporais e espaciais na alocação de canais em um sistema celular. In *Anais IXX SBRC 2001*, Florianópolis, SC, mai 2001.

[3] D.A.Cavalcanti, K.L. Dias, and D. Sadok. Estudos dos aspectos de qos e mobilidade no planejamento de uma rede móvel celular. In *Anais I WorkSIDAM*, Out 2000.

[4] G. Dahn, K. Jornsten, G. Lovnes, and S. Svaet. Graph optimization problems in connection with the managment of mobile communication systems. *Telecomunication Systems*, 1995.

[5] D. Everit. Traffic capacity of cellular mobile communications systems. *Computer Networks ISDN Systems*, 1990.

[6] T. Fujii. Selective handover for traffic balance in mobile communications. In *IEEE/Supercomm/ICC 92*, 1992.

[7] P.L. Hiew and M. Zukerman. Efficiency comparison of channel allocation schemes for digital mobile communication networks. *IEEE Transation on Vehicular Technology*, mai 2000.

[8] I. Katzela and M. Naghsshineh. Channel assigment schemes for cellular mobile telecomunication systems. *IEEE Personal Commun. Mag.*, jun 1996.

[9] J-H. Lee, T-H. Jung, S-U. Yoon, S-K. Youm, and C-H. Kang. An adaptive resource allocation mechanism including fast and reliable handoff in ip-based 3gwireless networks. *IEEE Personal Comunications*, dez 2000.

[10] W. Li and A.S. Alfa. Channel reservation for handoff calls in pcs network. *IEEE Transation on Vehicular Technology*, jan 2000.

[11] R.M. Salles. Protocolos de múltiplo acesso para redes sem fio. Master's thesis, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Tecnologia, 1998.