

*Avaliação de medidas de controlo de redes de telecomunicações sem fios***Gonçalo Jacinto***Universidade de Évora, Departamento de Matemática e CIMA-UE***António Pacheco***Instituto Superior Técnico, Departamento de Matemática e CEMAT***Nelson Antunes***Universidade do Algarve, Departamento de Matemática e CEMAT*

Resumo: Para suportar as características de teletráfego das redes sem fios multimédia são necessárias predições a curto prazo e medidas de controlo da rede, de forma a garantir a qualidade de serviço exigida pelo operador móvel. Jacinto, Pacheco e Antunes (2004) propuseram um algoritmo adaptativo de partilha de largura de banda para lidar com o problema de ocorrência de períodos de congestão, tais como os que ocorrem em horas de ponta. No entanto, sendo os bloqueios de chamadas de handoff os que mais afectam a qualidade de serviço das redes sem fios multimédia, propomos neste trabalho algoritmos de Controlo de Admissão de Chamadas e de Reserva de Largura de Banda tendo por objectivo diminuir a probabilidade de bloqueio de chamadas *hand-off*. Integramos estes mecanismos de controlo da rede com vista a garantir a qualidade de serviço das chamadas em curso na presença de períodos de congestão. Finalmente avaliamos, através de simulação, o desempenho dos mecanismos de controlo propostos.

Palavras-chave: Controlo de rede, mobilidade, modelação de tráfego, processo de Poisson não homogéneo, Qualidade de Serviço, redes sem fios multimédia.

Abstract: To support the teletraffic characteristics of multimedia wireless networks we need short term predictions and control measurements of the network to guarantee the quality of service required by the mobile operator. Jacinto, Pacheco and Antunes (2004) proposed an adaptative bandwidth sharing algorithm to address the problem of congestion periods, such as in rush hours. As low handoff call blocking is the most important factor for the quality of service of multimedia wireless networks, we propose in this paper Call Admission Control and Bandwidth Reservation algorithms. Their purpose is to reduce the handoff call blocking probability. We integrate these network control mechanisms in order to guarantee the quality of service of the ongoing calls in the presence of a congestion period, and evaluate their performance using simulation.

Keywords: Mobility, multimedia wireless networks, network control, nonhomogeneous Poisson process, Quality of Service, traffic modelling.

1 Introdução

A recente geração de redes celulares de telecomunicações sem fios multimédia encontra-se tipicamente organizada em *células*. Cada célula tem uma *estação base* que fornece a ligação rádio com os subscritores que se encontram em movimento nessa célula. Se, durante a duração da chamada, um móvel se desloca de uma célula para outra (handoff), a chamada terá que ser permutada entre as estações base atribuídas a cada uma dessas células. Se a nova célula não tiver recursos suficientes para servir a chamada handoff, esta sofre uma terminação prematura. Desta forma, os bloqueios handoff são de todo indesejáveis, preferindo os operadores bloquear a admissão de novas chamadas de forma a garantir a qualidade de serviço das chamadas em curso na célula. Os algoritmos de Controlo de Admissão de Chamadas (CAC) e Reserva de Largura de Banda (RLB) são mecanismos de controlo de redes orientados para lidar com este tipo de problemas. Alguns autores [2, 9, 11] utilizam unicamente um destes mecanismos, enquanto outros [10] integram ambos os mecanismos. No entanto, os modelos propostos não integram na sua totalidade as necessidades das actuais redes de telecomunicações sem fios, visto que consideram modelos de tráfego e/ou teletráfego bastante simples.

Neste artigo iremos propor os algoritmos de CAC e RLB e comparar os seus desempenhos com o modelo adaptativo de partilha de largura de banda proposto por Jacinto, Pacheco e Antunes [6] e analisado mais detalhadamente por Jacinto [5], para garantir a qualidade de serviço (QoS) das redes de telecomunicações sem fios perante a ocorrência de períodos de congestão, tais como os que ocorrem em horas de ponta.

Este trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma. Na Secção 2 descreve-se sucintamente o modelo de mobilidade e teletráfego, bem como os principais resultados necessários para implementação das medidas de controlo da rede. Na Secção 3 apresenta-se brevemente o modelo adaptativo de partilha de largura de banda e na Secção 4 introduzimos os algoritmos CAC e RLB. Finalmente, na Secção 5 são apresentados resultados de simulação e na Secção 6 tecem-se algumas conclusões.

2 Modelo de mobilidade e teletráfego

Considera-se um troço de auto-estrada com sentido único dividido em segmentos, onde cada segmento corresponde a uma célula e cujo comprimento total é de L (Km). A célula i ($1 \leq i \leq m$) compreende o intervalo $[l_{i-1}, l_i)$ da auto-estrada, com $0 = l_0 < l_1 < \dots < l_m = L$, cuja única entrada se situa na célula 1, nos $l_0 = 0$ (Km) e a única saída na célula m , nos $l_m = L$ (Km). Considera-se também que o tráfego se desloca num único sentido, da esquerda para a direita.

Seja $\{N(t), t \geq 0\}$ o processo (de contagem) de chegadas de móveis à auto-estrada, o qual se considera ser um processo de Poisson não homogéneo de taxa $\lambda(t)$. Assume-se que os móveis entram na auto-estrada com uma velocidade

constante e que não existe perda de tempo quando um móvel ultrapassa outro. Seja V_r a variável aleatória contínua com distribuição conhecida que representa a velocidade do móvel r , tal que $\{V_r, r \geq 1\} \stackrel{iid}{\sim} V$. Denota-se por F (f) a função distribuição cumulativa (função densidade de probabilidade) de V .

O processo de teletráfego do móvel r é definido por $(C_r(t), B_r(t))$, representando o estado de chamada e a capacidade requerida pelo móvel t unidades de tempo após ter chegado à auto-estrada, e assume-se que

$$\{(C_r(t), B_r(t)), t \geq 0, r \geq 1\} \stackrel{iid}{\sim} \{(C(t), B(t)), t \geq 0\}$$

onde $\{(C(t), B(t)), t \geq 0\}$ é um processo de fluido Markov modulado [1]. Isto é, o estado de chamada de um móvel na auto-estrada é governado por uma cadeia de Markov contínua irredutível, $\{C(t), t \geq 0\}$, com espaço de estados $A = A_0 \cup A_1$, onde A_0 representa o conjunto de estados inactivos (sem chamada), A_1 representa o conjunto dos estados activos, de modo que $A_0 \cap A_1 = \emptyset$. O processo de fluido tem taxa $B(t) = b_{C(t)}$ no instante t , onde b_j é a capacidade equivalente de um móvel no estado j (veja-se, e.g., [4] para a definição de capacidade equivalente), sendo que $b_j = 0, j \in A_0$. Seja, para $t \geq 0$,

$$q_j(t) = P(C(t) = j), \quad q_{jk}(t) = P(C(t) = k | C(0) = j), \quad j, k \in A.$$

Finalmente, assume-se que os estados de chamada dos móveis e as suas velocidades são independentes e designa-se por $q_j, j \in A$, a distribuição estacionária de $\{C(t), t \geq 0\}$.

Apresentamos de seguida alguns resultados necessários para implementar as medidas propostas de controlo da rede. Por restrições de espaço, é omitida a apresentação detalhada destes resultados, podendo estes ser consultados em [5].

Assume-se, no que se segue, que os móveis entram na auto-estrada em regime estacionário de teletráfego, ou seja, $q_j(0) = q_j$, para $0 \leq j \leq n$, o que implica que $q_j(s) = q_j$, para todo o $s \geq 0$. Para $x \geq 0$ e $j \in A$, seja $N_t^j(x)$ o número de móveis que no instante t se encontram no segmento $(0, x]$ da auto-estrada com estado de chamada j .

Teorema 1 Para $t \geq 0$ fixo, $N_t^j = \{N_t^j(x), 0 \leq x \leq L\}$, $j \in A$, são processos de Poisson não homogéneos independentes, com média

$$E[N_t^j(x)] = q_j \int_0^t \lambda(s) F\left(\frac{x}{t-s}\right) ds.$$

Para cada instante t , os processos estocásticos $N_t^j, j \in A$, são independentes e a distribuição espacial de móveis na auto-estrada no instante t , dada por $N_t = \sum_{j \in A} N_t^j$, também é um processo de Poisson não homogéneo, com média

$$E[N_t(x)] = \int_0^t \lambda(s) F\left(\frac{x}{t-s}\right) ds.$$

4 Jacinto, Pacheco e Antunes/Avaliação de medidas de controlo

A densidade de móveis no ponto x no instante t é dada por

$$Q_t(x) = \frac{\partial E [N_t(x)]}{\partial x} = \int_0^t \lambda(s) \frac{f\left(\frac{x}{t-s}\right)}{t-s} ds.$$

Através da informação disponível na rede conhece-se, em cada instante, o número de móveis em cada célula, podendo-se normalizar a densidade espacial de móveis na célula i tendo em conta o número de móveis na célula no instante t . Assim, $Q_t^i(x)$ representa a densidade da localização de um móvel escolhido a acaso entre aqueles que se encontram na célula i no instante t , ou seja,

$$Q_t^i(x) = \frac{Q_t(x)}{\int_{l_{i-1}}^{l_i} Q_t(y) dy}.$$

No que se segue, n_i^k representa o número de móveis na célula i com estado de chamada k no instante t e $n_i = \sum_{k \in A} n_i^k$. Então $S_i(t) = (n_i^k, k \in A)$ representa o estado da célula i no instante t e $S(t) = (S_1(t), \dots, S_m(t))$ o estado (global) da rede no instante t . Assume-se também que a probabilidade de um móvel efectuar mais do que um handoff num intervalo de tempo h é desprezável.

Seja $A_i^{jk}(t, h)$ o evento correspondente a um móvel escolhido ao acaso entre os que no instante t se encontram na célula i com estado chamada j continuar, após h unidades de tempo, na célula i com estado de chamada activo k . Condiçãoando na densidade espacial normalizada de móveis na célula i no instante t , conclui-se que

$$P(A_i^{jk}(t, h)) = q_{jk}(h) \int_{l_{i-1}}^{l_i} \int_0^{\frac{l_i-x}{h}} Q_t^i(x) f(v) dv dx.$$

De forma análoga, seja $H_i^{jk}(t, h)$ o evento correspondente a um móvel, escolhido ao acaso entre os que no instante t se encontram na célula $i-1$ com estado de chamada j , estar após h unidades de tempo na célula i com estado de chamada activo k . Conhecido o estado do móvel e condiçãoando na densidade de localização de um móvel escolhido ao acaso na célula $i-1$ no instante t , conclui-se que

$$P(H_i^{jk}(t, h)) = q_{jk}(h) \int_{l_{i-2}}^{l_{i-1}} \int_{\frac{l_{i-1}-x}{h}}^{\frac{l_i-x}{h}} Q_t^{i-1}(x) f(v) dv dx.$$

Multiplicando a probabilidade de um móvel se manter activo com estado de chamada k após h unidades de tempo pela capacidade equivalente de um móvel no estado k e somando para todos os estados de chamada, obtemos o valor esperado e a variância da capacidade ocupada na célula i no instante $t+h$ por um móvel escolhido aleatoriamente entre os que no instante t se encontram na célula i com estado de chamada activo. Como os móveis se comportam independentemente, o valor esperado e a variância de $C_i^M(t, h)$, a capacidade ocupada

no instante $t + h$ pelos móveis que se mantêm na célula i durante o intervalo de tempo $[t, t + h]$, condicional ao estado da célula i no instante t , podem ser facilmente obtidos pela soma do valor esperado e da variância, respectivamente, da capacidade ocupada por cada móvel que se mantêm na célula i durante o intervalo de tempo $[t, t + h]$. Note-se que $C_i^M(t, h)$ é composta pela soma das capacidades independentes ocupadas pelos móveis que se encontram activos em t e continuam activos em $t + h$, e pelos móveis que realizam novas chamadas durante o intervalo de tempo $[t, t + h]$.

De forma análoga, condicionando no estado da célula $i - 1$ no instante t , podemos obter o valor esperado e a variância de $C_i^H(t, h)$, a capacidade requerida na célula i pelos móveis que efectuam handoff para essa célula no intervalo $(t, t + h]$. Finalmente, fazendo $C_i^R(t + h)$ igual à capacidade requerida na célula i no instante $t + h$, obtêm-se

$$\begin{aligned} E[C_i^R(t + h)|S(t)] &= E[C_i^M(t, h)|S_i(t)] + E[C_i^H(t, h)|S_{i-1}(t)] \\ \text{Var}[C_i^R(t + h)|S(t)] &= \text{Var}[C_i^M(t, h)|S_i(t)] + \text{Var}[C_i^H(t, h)|S_{i-1}(t)]. \end{aligned}$$

Quando o número de móveis nas células i e $i - 1$ se torna grande, a capacidade requerida na célula i decorridas h unidades de tempo pode ser aproximada pelo teorema do limite central de Lindeberg para somas identicamente distribuídas (ver, e.g., [3]), situação essa em que

$$\frac{(C_i^R(t + h) | S(t)) - E[C_i^R(t + h) | S(t)]}{\sqrt{\text{Var}[C_i^R(t + h) | S(t)]}} \underset{a}{\approx} N(0, 1).$$

O conhecimento, embora aproximado, da distribuição da capacidade requerida na célula i após um dado intervalo de tempo é essencial para a implementação dos algoritmos de controlo da rede.

3 Algoritmo de partilha de largura de banda

O algoritmo de partilha de largura de banda foi construído para lidar com o problema de diminuição da QoS da rede durante os períodos de congestão, permitindo que as células afectadas pelo pico de tráfego peçam emprestada largura de banda às células vizinhas que não se encontrem congestionadas. Perante esses pedidos é construído um cluster de células, constituído por três células consecutivas da auto-estrada com autorização para partilhar largura de banda entre si.

Como a estratégia de empréstimo é implementada em cada período de h unidades de tempo, considera-se, no que se segue, que o período k , $k \in \mathbb{N}_0$ representa o intervalo de tempo $[kh, (k + 1)h)$. Desta forma, em vez de nos referirmos ao instante t , passamos a considerar o período k . Para $k \in \mathbb{N}_0$, seja $C_i^S(k)$ a capacidade de serviço da célula i no início do período k , i.e., a largura de banda que no início do período k a célula i efectivamente dispõe para servir

6 Jacinto, Pacheco e Antunes/Avaliação de medidas de controlo

os móveis. A capacidade de serviço da célula é basicamente a sua capacidade inicial alterada pelos empréstimos de largura de banda entre células. Como tal, apenas as células pertencentes ao cluster poderão ter uma capacidade de serviço diferente da sua capacidade inicial.

A descrição detalhada do algoritmo que descreve a actualização do cluster de período para período, bem como uma descrição mais detalhada da estratégia de empréstimo, pode ser consultada em [5, 6].

O algoritmo de empréstimo no período k é composto pelos seguintes passos:

a) Pedido de empréstimo

1. Determinar a capacidade de serviço em cada célula j , $C_j^S(k)$, $1 \leq j \leq m$. Neste passo, se houver alguma célula que deixe de pertencer ao cluster, toda a largura de banda que tivesse emprestada é-lhe devolvida.
2. Determinar a capacidade disponível em cada célula pertencente ao cluster.
3. Determinar os pedidos de empréstimo de largura de banda.

b) Actualização de parâmetros

1. Determinar as devoluções de largura de banda das células pertencentes ao cluster que não efectuaram pedidos de empréstimo.
2. Actualizar a largura de banda emprestada.

4 Algoritmos de controlo de chamadas

Devido à mobilidade dos utilizadores e à estrutura celular das actuais redes de telecomunicações sem fios, os utilizadores podem transitar de célula para célula durante a duração das suas chamadas. No entanto, devido aos recursos da rede serem limitados e embora no início da ligação possam existir recursos suficientes para acomodar a chamada, não existe a garantia que na altura do handoff existam recursos disponíveis para assegurar a continuidade da ligação. Contudo, sendo impossível eliminar por completo os bloqueios handoff, é possível garantir, com uma determinada probabilidade, a qualidade de serviço assumida pelo operador móvel.

A solução que os operadores encontraram para lidar com a diminuição da QoS foi investir na infra-estrutura da rede de forma a dotá-la de largura de banda suficiente para evitar a diminuição da QoS, o que implica uma utilização ineficiente da largura de banda e custos desnecessários. Desta forma, o paradigma das redes de telecomunicações é o de permitirem uma elevada utilização dos recursos da rede mas garantindo a QoS dos utilizadores. Os algoritmos CAC e RLB foram construídos precisamente para permitir uma gestão eficiente dos recursos da rede.

4.1 Algoritmo de Controlo de Admissão de Chamadas

O objectivo do algoritmo CAC é aceitar uma nova chamada numa célula se esta não afectar a qualidade de serviço das chamadas em curso na célula e dos handoffs que ocorram num dado intervalo de tempo e, simultaneamente, se a nova chamada tiver a QoS desejada. O CAC aqui proposto utiliza, no processo de decisão, leituras do teletráfego, nomeadamente do número de móveis em cada célula e do estado de teletráfego de cada móvel, para estimar o estado da célula no final de cada período. No que se segue, consideremos que o estado da célula i admitindo que a nova chamada com estado j seja aceite nessa célula é dado por $S_i^j(t)$ e o estado (global) da rede no instante t admitindo que a nova chamada com estado j seja aceite na célula i é dado por $S^{(i,j)}(t) = (S_1(t), \dots, S_{i-1}(t), S_i^j(t), S_{i+1}(t), \dots, S_m(t))$.

É estabelecida *a priori* a QoS desejada, P_{QoS} , que é escolhida de forma a bloquear uma nova chamada apenas quando existem fortes indícios da ocorrência de um bloqueio. Uma nova chamada é admitida na célula i com estado de chamada j , no instante $t \in [kh, (k+1)h)$, se e só se verificarem as seguintes condições de admissão:

1. $b_j < C_i^L(t)$;
2. $P(C_i^R(k+1) > C_i^S(k) | S^{(i,j)}(t)) \leq 1 - P_{QoS}$;
3. $P(C_{i+1}^R(k+1) > C_{i+1}^S(k) | S^{(i,j)}(t)) \leq 1 - P_{QoS}$,

onde $C_i^L(t) = C_i^S(k) - C_i^O(t)$ representa a capacidade livre na célula i no instante t , dada pela diferença da capacidade de serviço da célula i no período k e a capacidade ocupada na célula i no instante t . A condição de admissão (1) apenas analisa se existe largura de banda disponível para admitir uma nova chamada. Na condição de admissão (2) é estimada a capacidade necessária na célula i no final do período k , ou seja, após $(k+1)h - t$ unidades de tempo, pressupondo que o novo móvel seja admitido na rede. Se a probabilidade de bloqueio na célula i for superior a $1 - P_{QoS}$ a nova chamada será rejeitada. Finalmente, a condição de admissão (3) estima a capacidade necessária na célula $i+1$ no final do período k , assumindo a admissão do novo móvel na célula i e a probabilidade de móveis realizarem handoff. Se a probabilidade de bloqueio na célula $i+1$ for superior a $1 - P_{QoS}$, a nova chamada será rejeitada.

Podemos facilmente obter uma expressão para as condições (2) e (3) do algoritmo CAC, uma vez que

$$P\left(C_l^R(k+1) > C_l^S(k) | S^{(i,j)}(t)\right) \simeq 1 - \Phi \left[\frac{C_l^S(k) - E[C_l^R(k+1) | S^{(i,j)}(t)]}{\sqrt{\text{Var}[C_l^R(k+1) | S^{(i,j)}(t)]}} \right],$$

para $l = i, i+1$.

A aplicação do algoritmo CAC permite que a probabilidade de bloqueio das chamadas handoff se mantenha abaixo do desejada qualidade de serviço, P_{QoS} .

4.2 Algoritmo de Reserva de Largura de Banda

A ideia básica do algoritmo RLB é reservar *a priori* largura de banda em cada célula exclusivamente para as chamadas de handoff, de forma a garantir a QoS das chamadas em curso. Obviamente que a reserva de largura de banda para chamadas handoff origina um maior número de bloqueios de novas chamadas.

Uma estratégia simples é reservar uma percentagem fixa de largura de banda em cada estação base para os handoffs, o que faz com que os recursos da rede sejam geridos ineficientemente. Contudo, esta estratégia tem a vantagem de ser bastante simples pois não existe necessidade das células trocarem informações entre si. Um alternativa à reserva fixa é cada estação base adaptar dinamicamente a capacidade reservada às necessidades da rede.

A nossa proposta passa por adaptar dinamicamente a capacidade reservada para handoff com base na leitura periódica do estado de teletráfego de cada célula. Através das estimativas das capacidades ocupadas no início de cada período e em cada célula pelos handoffs e pelas novas chamadas, efectua-se uma partição da capacidade livre com base no peso que cada um destes terá no próximo período. No final de cada período actualizam-se as estimativas, adaptando-se a largura de banda reservada para os handoffs às necessidades de cada célula.

Com base nos resultados da Secção 2, determina-se a estimativa da capacidade ocupada após h unidades de tempo pelos móveis que efectuem handoff para a célula i , $C_i^H(t, h)$, e pelos móveis que realizam novas chamadas, $C_i^N(t, h)$. Assim, a capacidade livre no início do período k é decomposta na capacidade reservada para os handoff, $C_i^{RH}(k)$, e na capacidade livre geral, $C_i^{LG}(k)$, onde

$$C_i^{RH}(k) = \frac{C_i^H(t, h)}{C_i^H(t, h) + C_i^N(t, h)} C_i^L(k) \text{ e } C_i^{LG}(k) = \frac{C_i^N(t, h)}{C_i^H(t, h) + C_i^N(t, h)} C_i^L(k).$$

Destá forma, é reservada exclusivamente para chamadas handoff a percentagem da largura de banda livre correspondente ao peso da estimativa da capacidade ocupada pelos handoffs.

Após a largura de banda ser reservada, uma nova chamada na célula i com estado de teletráfego j no instante t é aceite se existir largura de banda livre geral suficiente, ou seja, se $C_i^{LG}(t) > b_j$ e rejeitada caso contrário. Por outro lado, uma chamada handoff na célula i e no instante t com estado de teletráfego j é aceite se a capacidade livre é suficiente, ou seja, se $C_i^L(t) = C_i^{RH}(t) + C_i^{LG}(t) > b_j$; caso contrário, a chamada é rejeitada. As novas chamadas apenas dispõem da capacidade livre geral enquanto que as chamadas handoff utilizam em primeiro lugar a capacidade reservada e, se esta não for suficiente para acomodar a chamada handoff, utilizam de seguida a capacidade livre geral.

5 Resultados de simulação

Nesta secção ir-se-á aferir o desempenho dos algoritmos de controlo da rede por intermédio de simulação, utilizando a linguagem PARSEC [8]. Na análise

estatística dos resultados, para estimação das probabilidades estacionárias, foi adoptado o método de replicação/anulação para médias (veja-se, e.g., Law e Kelton [7]).

Considere-se que o processo de entradas é Poisson não homogéneo, com taxa máxima de entradas de 60 móveis por minuto, representando tráfego intenso [1, 5]. A taxa de entradas, em segundos, é dada por

$$\lambda(t) = \begin{cases} \frac{\cos\left(\frac{80}{43200}\pi t + \pi\right) + 3}{4}, & 7560 \leq t \bmod 16200 \leq 8640 \\ 0.5, & \text{caso contrário,} \end{cases}$$

onde $t \bmod 16200$ representa o resto da divisão inteira de t por 16200. Esta taxa é periódica com período de 270 minutos, com um pico de tráfego, atingindo a taxa máxima de entradas de 60 móveis por minuto, com 18 minutos de duração. A escolha desta taxa de entradas permite observar o desempenho do modelo de partilha de largura de banda durante um dado período do dia e a sua utilização garante que num dado instante apenas existe um único pico de tráfego no troço de células, não abrangendo mais do que duas células consecutivas.

Com base nos parâmetros apresentados em [1, 5], considerámos um troço de auto-estrada seccionada em 12 células, cada uma com dimensão 10 Km e capacidade 1050 kbits/s, e que os móveis entram na auto-estrada com velocidade 100 Km/h. Considerou-se que o processo de teletráfego possui um estado activo, representando tráfego em tempo real do tipo contínuo, como e.g., chamadas de voz; a duração de cada chamada segue uma distribuição exponencial com média 100 segundos e a largura de banda necessária para servir uma chamada é 16 kbits/s. O tempo de permanência no estado inactivo é exponencialmente distribuído com média 300 segundos. Considerou-se ainda que, na entrada da auto-estrada, 30% das chamadas surgem no estado activo e 70% no estado inactivo. Finalmente, considerou-se h , a duração de um período entre estimativas, igual a 180 segundos.

Para avaliar a performance dos modelos, foram obtidas como medidas de desempenho as probabilidades de bloqueio de chamadas handoff e de novas chamadas no troço da auto-estrada. Os modelos construídos para comparação foram o modelo O , onde não é implementada qualquer medida de controlo, o modelo EE , onde apenas é implementado o algoritmo de empréstimo de largura de banda entre células, o modelo CAC , em que é utilizado o algoritmo de controlo de admissão de chamadas e o modelo RLB , em que é implementado o algoritmo de reserva de largura de banda. Na utilização do algoritmo CAC , a probabilidade estipulada para a qualidade de serviço foi de $P_{QoS} = 0.05$, valores típicos utilizados em [2, 11]. No lado esquerdo da Figura 1 podemos averiguar o desempenho de cada um

destes modelos. Pela análise da figura podemos constatar que os modelos CAC e RLB são os que têm maior impacto na redução das probabilidades de bloqueio handoff (PBH) mas à custa de um aumento elevado das probabilidades de bloqueio de novas chamadas (PBN). Comparativamente ao modelo O , verifica-se uma redução da PBH de 84% e um aumento da PBN de 71% no

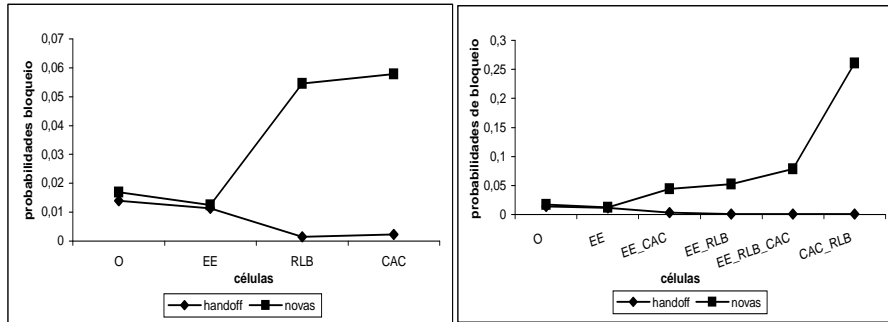


Figura 1: Probabilidades de bloqueio de novas chamadas e de chamadas handoff.

modelo *CAC*, enquanto no modelo *RLB* verifica-se uma redução da PBH de 89% e um aumento da PBN de 69%. Em contrapartida, o modelo *EE* consegue uma redução em ambas as probabilidades de bloqueio, pois foi exactamente para isso que foi construído - aliviar as células durante os períodos de congestão sem quaisquer prioridades. Neste modelo verificam-se reduções de 19% na PBH e de 26% na PBN. Concluímos que, individualmente, o modelo *EE* consegue diminuir ambas as probabilidades de bloqueio enquanto os modelos *CAC* e *RLB* conseguem diminuir substancialmente a PBH à custa de um aumento da PBN.

No lado direito da Figura 1 averiguamos o desempenho dos modelos que combinam as medidas de controlo da rede. Para isso, compararam-se o modelo *O*, o modelo *EE*, o modelo *CAC_RLB*, onde os algoritmos *CAC* e *RLB* são utilizados simultaneamente, o modelo *EE_CAC*, em que o algoritmo *CAC* é utilizado simultaneamente com a estratégia de empréstimo de largura de banda entre células, o modelo *EE_RLB*, onde o algoritmo *RLB* é utilizado simultaneamente com a estratégia de empréstimo e, finalmente, o modelo *EE_RLB_CAC*, que utiliza os três algoritmos simultaneamente.

Comparativamente ao modelo *O*, o modelo *CAC_RLB* é o que origina uma maior redução na PBH. No entanto, esta redução é acompanhada com um aumento elevado da PBN. Observa-se uma redução de 97% da PBH e um aumento de 94% na PBN. O modelo *EE_RLB_CAC* que integra os três algoritmos, apresenta uma redução de 96% da PBH e um aumento de 78% da PBN. O modelo *EE_RLB* apresenta um comportamento semelhante, com uma redução de 92% da PBH e um aumento de 67% da PBN, enquanto o modelo *EE_CAC* apresenta uma redução da PBH de 75% mas acompanhada de um aumento da PBN de apenas 62%. Desta forma, os modelos *EE_CAC* e *EE_BR* conseguem, durante os períodos de congestão, garantir uma redução elevada da PBH à custa de um aumento da PBN. Por outro lado, o modelo *EE* apesar de uma diminuição mais moderada da PBH apresenta também uma diminuição da PBN.

Os resultados apresentados são os considerados sob uma situação de tráfego

intenso onde o congestionamento ocorre durante os períodos de congestão, tal como acontece em horas de ponta. Nestas situações, desde que o pico de tráfego não abranja mais de duas células consecutivas, podemos afirmar que os resultados se mantêm genericamente idênticos.

Podemos concluir que, perante a ocorrência de períodos de congestão e à custa de se rejeitarem novas chamadas é possível manter extremamente baixa a probabilidade de bloqueio de chamadas de handoff. Note-se que a utilização da estratégia de empréstimo permite, quer individualmente, quer combinada com outras estratégias, garantir uma redução das probabilidades de bloqueio handoff e manter a probabilidade de bloqueio de novas chamadas abaixo do valor recomendável (6%) nos modelos EE, EE_CAC e EE_RLB. Desta forma, mesmo na presença de períodos de congestão da rede, o operador do serviço móvel consegue garantir através da implementação destas medidas de controlo uma elevada qualidade de serviço.

6 Conclusões

Neste trabalho foram propostos um algoritmo de Controlo de Admissão de Chamadas e um algoritmo de Reserva de Largura de Banda que, interligados com o Modelo Adaptativo de Partilha de Largura de Banda, permitem garantir, com uma elevada probabilidade, a qualidade de serviço das chamadas em curso na presença de períodos de congestão.

Estes algoritmos baseiam-se num procedimento simples para estimar a largura de banda requerida em cada célula, que conduz a estimativas bastante precisas. Na presença de períodos de congestão, a utilização do Modelo Adaptativo de Partilha de Largura de Banda, quer individualmente quer combinado com os outros algoritmos, permite manter elevada a QoS das chamadas handoff e ao mesmo tempo manter a probabilidade de bloqueio de novas chamadas abaixo do valor recomendável.

Agradecimentos:

Esta investigação foi suportada parcialmente pelo *Programa Operacional “Ciência, Tecnologia, Inovação”* (POCTI) da *Fundação para a Ciência e a Tecnologia* (FCT), cofinanciada pelo fundo da União Europeia FEDER, e pelos projectos POSI/42069/CPS/2001 e POSI/EIA/60061/2004.

Referências

- [1] Antunes N. (2001). *Modeling and Analysis of Wireless Networks*. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- [2] Epstein, B. M. e Schwartz, M. (2000). Predictive QoS-based admission control for multiclass traffic in cellular wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18(3), p.523-534.

- [3] Feller, W. (1971). *An Introduction to Probability Theory and Applications*, Volume II. Wiley, Nova Iorque, Segunda edição.
- [4] Guérin, R., Ahmadi, H. e Naghshineh, M. (1991). Equivalent capacity an its application to bandwidth allocation in high-speed networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 1, p.329-343.
- [5] Jacinto, G. (2004). *Modelo Adaptativo de Partilha de Largura de Banda em Cenário de Auto-estrada*. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- [6] Jacinto, G., Pacheco, A. e Antunes, N. (2004). Modelo Adaptativo de Partilha de Largura de Banda em Cenário de Auto-estrada. Em *Estatística com Acaso e Necessidade* (Rodrigues, P. M. M., Rebelo, E. L. e Rosado, F., eds.), pp. 349-360, Edições SPE.
- [7] Law, A. e Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modelling and Analysis*. McGraw-Hill, Nova Iorque, Segunda edição.
- [8] Meyer, R. (1998). *PARSEC User Manual*. UCLA Parallel Computing Laboratory.
- [9] Naghshineh, M. e Schwartz, M., (1996). Distributed call admission control in mobile/wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, p.711-717.
- [10] Prihandoko, F., Habaebi, M. H. e Ali, B. M. (2003). Adaptative call admission control for QoS provisioning in multimedia wireless networks. *IEEE Computer Communications*, vol. 26, p.1560-1569.
- [11] Ramanathan, P., Sivalingam, K. M., Agrawai, P. e Kishore, S. (1999). Dynamic resource allocation schemes during handoff for mobile multimedia wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 17(7), p.1270-1283.