

1 Introdução

1.1 Motivação

A expansão de serviços de comunicações sem fio de voz para dados, multimídia e internet modificou o conceito de telecomunicações na sociedade. Surgiu a necessidade de se manter uma conexão permanente a qualquer hora, em qualquer lugar. A cada dia surgem novos serviços a serem prestados que demandam cada vez mais recursos do sistema. Como o espectro de frequências é limitado, é necessário zelar pela eficiência da utilização dos recursos rádio [79]. Este objetivo pode ser alcançado de diversas formas que vem sendo desenvolvidas nas duas últimas décadas. Tal área de pesquisa é conhecida como Gerência de Recursos Rádio.

Uma solução é planejar o sistema celular com células menores, chamadas de micro e pico células, com o intuito de ampliar a re utilização das frequências e, conseqüentemente, a capacidade do sistema. No entanto, esta solução aumenta a quantidade de *handoffs* no sistema, sobretudo para os usuários em alta velocidade.

O *handoff* é o procedimento de transferência de comunicação de uma Estação Rádio Base (ERB) à outra ERB de uma célula vizinha [25]. Para que a chamada em *handoff* não seja perdida, o sistema deve fazer distinção ao lidar com esta chamada em relação à solicitação de uma chamada que será iniciada.

Como solução de compromisso, foram desenvolvidos os sistemas multicamadas, onde macro-células são superpostas a micro-células. O objetivo é alocar os usuários em baixa velocidade nas micro-células e os usuários em alta velocidade nas macro-células, reduzindo o número de *handoffs*, conforme a referência [71].

O controle de potência mais eficiente pode diminuir a interferência causada nos usuários co-canais e aumentar a capacidade do sistema. Outra

abordagem é através da alocação dos canais através de técnicas mais eficientes conhecidas como alocação dinâmica de canais [40].

Além dos métodos tradicionais da Gerência de Recursos Rádio,[78], outra linha de pesquisa que vem sendo intensamente desenvolvida é a de algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas, onde se mantém o foco desta tese [4], [20].

O Controle de Admissão pode considerar vários aspectos da chamada e do usuário tais como: sua demanda de recursos; sua classe de tarifação, seus requisitos de qualidade de serviço (QoS) e se o usuário é um usuário novo tentando ser aceito no sistema, ou se está em procedimento de *handoff*, proveniente de outra célula.

Além dos aspectos relacionados à chamada, o Controle de Admissão pode considerar aspectos relacionados ao sistema, como o tráfego em andamento na célula-alvo e nas suas vizinhas, verificando os recursos do sistema em relação à demanda gerada pelos usuários, de modo a melhorar o desempenho do sistema.

Com a evolução da tecnologia, as taxas de transmissão aumentam, possibilitando atender melhor à demanda. Por outro lado, surgem novas possibilidades de utilização da rede e a diversificação dos serviços oferecidos. Os sistemas já existentes devem se adaptar à nova demanda de serviço com a introdução de dados na rede móvel, que originalmente era utilizada apenas para voz.

Nos sistemas atuais esta demanda vem sendo atendida através da reserva de recursos exclusiva para dados. No entanto, devido à escassez de recursos rádio, é importante aumentar a sua utilização de forma a atender, com qualidade, o maior número de usuários possível.

Considerando os parâmetros de Qualidade de Serviço (QoS), devemos obter probabilidades mínimas de bloqueio de novas chamadas e probabilidades mínimas de queda de chamadas em *handoff*. A concretização desses objetivos de QoS para os usuários de chamadas de voz deve ser estendida às novas classes de usuários que estão surgindo. Usuários de serviços diferentes possuem necessidades diversas de recursos, de espera no atendimento e requisitos de QoS. As características de aplicações de dados e multimídia são muito diferentes das de voz. O tráfego de dados normalmente consome mais banda que o de voz, mas pode ser adaptativo, [46], por ser menos restrito quanto aos requisitos de qualidade de serviço.

A presença de usuários de múltiplos serviços na rede de comunicações móveis, a limitação de espectro e o tráfego heterogêneo motivaram o estudo realizado nesta tese.

1.2

Identificação do Problema

Na observação da evolução das aplicações da telefonia móvel, nota-se que no passado o uso era exclusivo para usuários de voz e hoje temos diversos outros serviços, tais como: mensagens, vídeo e internet. Para prover esses novos serviços de forma adequada e, simultaneamente, aumentar a utilização dos recursos do sistema, vários aspectos novos devem ser analisados.

O problema a resolver é a escassez de recursos rádio para atender a usuários com necessidades de banda e de qualidade de serviço que não são uniformes, além de dar prioridade a usuários em *handoff*.

Uma solução possível para este problema é um algoritmo de controle de admissão que atenda adequadamente às necessidades de banda dos usuários, oferecendo os recursos rádio disponíveis e procurando simultaneamente atender seus respectivos parâmetros de QoS estabelecidos para cada classe de usuário.

O Controle de Admissão de Chamadas (CAC) é de suma importância para o bom desempenho da rede. Ao trabalhar com usuários que possuem características diferentes, o controle torna-se mais difícil e prioritário, aumentando o número de variáveis do algoritmo que deve ser ajustado para se adaptar às diversas características do sistema. O CAC deve considerar a mobilidade dos usuários e os parâmetros de desempenho instantâneos do sistema para alocar, ou não, os recursos disponíveis aos usuários de múltiplas classes de serviço.

1.3

Objetivos

O objetivo desta tese é melhorar a eficiência do atendimento aos usuários da rede de comunicações móveis através da apresentação de novos Algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) que são capazes de se adaptar às diversas características do tráfego em andamento no sistema.

Os algoritmos de CAC consideram usuários de uma ou mais classes. Entende-se por classe o tipo de serviço que é prestado ao usuário tais como serviços de voz, dados e vídeo. Cada serviço possui diversas características de tráfego, demanda de recursos rádio e requisitos de QoS. Os requisitos de QoS considerados neste trabalho são o percentual de bloqueio de chamadas novas e o percentual de falha de chamadas em *handoff*. Ao receber uma

solicitação de recurso, o CAC considera se o usuário é novo ou em *handoff* e sua classe de usuário, procurando alcançar valores elevados de utilização dos recursos e manter os parâmetros de desempenho dentro dos requisitos de QoS.

1.4

Contribuições da Tese

Na etapa inicial de identificação do problema foi feita uma pesquisa extensa sobre a bibliografia de Gerência de Recursos Rádio e Controle de Admissão de Chamadas, cujo resumo é apresentado neste trabalho.

Ao longo da pesquisa que resultou nesta tese foram desenvolvidos algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) que são adaptativos ao tráfego em andamento no sistema. Cada Estação Rádio Base (ERB) controla de forma dinâmica a entrada de chamadas ao seu sistema, de acordo com as características do tráfego e do desempenho do sistema na sua tentativa de atendê-las. Além de serem dinâmicos, os algoritmos propostos são distribuídos, apresentando um controle local em cada Base. Não há a necessidade de troca de informação entre as Bases para a tomada de decisão da solicitação de recurso rádio, diminuindo o volume de informações de controle na rede.

Os recursos a serem distribuídos entre os usuários são definidos como unidades de banda (UB) e podem representar os recursos dos vários sistemas existentes. Os recursos nos sistemas FDMA são canais ou frequências, nos sistemas TDMA são divisões de tempo, nos sistemas CDMA são códigos e níveis de potência e nos sistemas OFDMA são frequências e divisões de tempo. Portanto, o estudo apresentado neste trabalho pode ser aplicado em diversos sistemas. Os trabalhos recentes [36], [70] e [6] apresentam algoritmos de controle de admissão dos sistemas adotados nos padrões OFDMA que utilizam os *slots* de tempo das subportadoras como recursos a serem alocados, tais como neste trabalho de tese.

Os primeiros algoritmos propostos consideram apenas uma classe de usuários. O objetivo é fazer um vasto estudo sobre as possibilidades de se atender os requisitos de qualidade de serviço nos diversos cenários que envolvem a mobilidade dos usuários e a intensidade de tráfego de entrada, considerando diferentes distribuições para o tempo de permanência do usuário na célula.

Na etapa seguinte são considerados usuários de múltiplas classes, ou seja, os usuários podem entrar no sistema solicitando quantidades diferentes

de recursos ou com diferentes requisitos de qualidade de serviço. Os recursos limitados da rede sem fio são alocados pelo CAC aos usuários que solicitam recursos do sistema considerando suas características: sua classe de usuário; se o solicitante é um usuário em *handoff* ou se é um usuário novo; e o desempenho instantâneo do sistema para cada tipo de usuário. O objetivo é atender, de forma eficiente, os diferentes tipos de tráfego, respeitando seus requisitos de QoS em relação aos percentuais de bloqueio de chamadas novas e de falha de chamadas em *handoff*. Assim como no caso de uma classe de usuários, foi feito o estudo do número ideal de recursos a serem reservados no caso de duas classes de usuários.

Também é parte integrante deste trabalho o desenvolvimento de um simulador de um sistema de comunicações móveis, em linguagem C, para verificar o desempenho dos algoritmos aqui propostos. O simulador comporta uma ou mais classes de usuário com valores diferentes de demanda de recursos do sistema e requisitos de qualidade de serviço individualizados para cada classe. Além disso, o desenvolvimento do simulador possibilitou introduzir diversos modelos de tráfego para o tempo de permanência do usuário na célula.

Para testar a capacidade de resposta e o desempenho dos algoritmos propostos, o tráfego de entrada é variado em relação à razão entre usuários em *handoff* e usuários novos. Foram também testadas várias distribuições estatísticas na modelagem do tráfego.

Os resultados obtidos pelo simulador de redes, desenvolvido neste trabalho, são confirmados com resultados analíticos da probabilidade de falha de chamadas em *handoff*, da probabilidade de bloqueio de chamadas novas e da utilização dos recursos rádio para sistemas cujo controle de admissão é estático e cujo modelo de tráfego utiliza distribuições exponenciais para o tempo de retenção do recurso. São definidos como estáticos os sistemas que utilizam um número fixo de recursos reservados. O cálculo foi feito inicialmente no capítulo 3 para sistemas de uma classe de usuários e posteriormente expandido para sistemas de M classes de usuários no capítulo 8. Suas expressões foram implementadas através do desenvolvimento de um programa em MATLAB[®] que gera os resultados analíticos, recolhe os resultados simulados em linguagem C, introduzidos por arquivos numéricos, e calcula as médias das diversas simulações e traça todos os gráficos apresentados neste trabalho.

Após a validação dos resultados obtidos pelo simulador, o mesmo é considerado apto a testar os algoritmos propostos neste trabalho. É bom lembrar que estes algoritmos não possuem solução analítica por variarem

a quantidade de recursos reservados de uma forma dinâmica, ao longo do tempo, e nos casos em que se utiliza distribuições diferentes da exponencial para o modelo de tráfego.

Alguns dos resultados apresentados neste trabalho de tese resultaram em publicações que constam das referências [63], [64], [65], [66].

1.5 Organização da Tese

Neste trabalho foram desenvolvidos algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas adaptativos e distribuídos, que são apresentados e testados em diversas condições de tráfego e de QoS.

O Capítulo 2 descreve os trabalhos anteriores na área de gerência de recursos rádio e controle de admissão de chamadas para sistemas de uma ou mais classes usuários. Também é apresentada uma classificação para os diversos tipos de algoritmos de controle de admissão de chamadas.

No Capítulo 3 são apresentados os modelos analíticos, baseados em cadeias de Markov unidimensionais, para o cálculo das probabilidades de bloqueio de chamadas novas e de falha de *handoff* para sistemas de uma classe de usuários que utilizam a reserva de canais para atender aos requisitos de qualidade de serviço.

O Capítulo 4 apresenta a ferramenta de simulação desenvolvida neste trabalho de tese para avaliar o desempenho dos algoritmos de controle de admissão propostos para sistemas com usuários de múltiplas classes.

O Capítulo 5 propõe algoritmos dinâmicos de Controle de Admissão de Chamadas para usuários de uma classe que se adaptam às características de tráfego.

O Capítulo 6 aborda o problema de atender simultaneamente a duas restrições de QoS e propõe um algoritmo de Controle de Admissão de Chamadas para usuários de uma classe.

O Capítulo 7 compara os resultados apresentados pelos algoritmos propostos através de duas métricas e compara o comportamento dos algoritmos dinâmicos para várias distribuições propostas para o tempo de permanência do usuário na célula.

O modelo para sistemas de múltiplas classes de usuários por cadeias de Markov de dimensão M é desenvolvido no Capítulo 8.

O Capítulo 9 apresenta os Algoritmos propostos de Controle de Admissão de Chamadas para usuários de múltiplas classes. Alguns dos algoritmos introduzidos no capítulo 5 são estendidos para sistemas de

dimensão M e são propostas novas técnicas adaptativas ao tráfego em andamento.

O Capítulo 10 apresenta as conclusões da tese, sugere e discute questões para trabalhos futuros.

O Apêndice A aborda o modelo de tráfego utilizado neste trabalho. A maioria dos trabalhos encontrados na bibliografia utiliza a distribuição exponencial para a permanência do usuário na célula. Neste trabalho, além da permanência do usuário na célula ser tratada como uma distribuição exponencial, consideramos também outras distribuições apresentando o desenvolvimento analítico e o comportamento simulado da rede.