

Um Framework para Provisão de QoS em Redes Móveis Sem Fio¹

Luciana dos Santos Lima, Antônio Tadeu A. Gomes, Sérgio Colcher, Luiz Fernando G. Soares

Laboratório TeleMídia – Departamento de Informática
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marquês de São Vicente, 225
Rio de Janeiro – RJ
22453-900, Brasil
www.telemidia.puc-rio.br

{lslima, atagomes, colcher, lfgs}@inf.puc-rio.br

Abstract. *This work presents a set of frameworks that intend to offer QoS provisioning in wireless mobile networks by integrating isolated solutions found in the literature. These frameworks incorporate such concepts as resource reservation in advance, QoS intervals, control policies and management and prediction of user mobility. In order to assess the proposal, an instantiation of the frameworks is described by means of a simulation scenario in which integrated services are offered over a Mobile IP network.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um conjunto de frameworks que se propõe a oferecer provisão de QoS em redes móveis sem fio integrando soluções isoladas encontradas na literatura. Esses frameworks incorporam conceitos como reserva de recursos antecipada, intervalos de QoS, políticas de controle, gerenciamento e previsão da mobilidade do usuário. Para avaliar a proposta, uma instanciação dos frameworks é descrita através de um cenário simulado em que serviços integrados são oferecidos sobre uma rede IP Móvel.*

1. Introdução

Idealmente, redes móveis sem fio devem ser capazes de oferecer a entrega de voz, vídeo e dados textuais com a *qualidade de serviço* (*Quality of Service – QoS*) requisitada pelos usuários, sem interrupções. O crescente interesse em torno de aplicações multimídia em redes móveis sem fio traz consigo desafios próprios que tornam a provisão de QoS uma tarefa mais complexa. Tal complexidade é resultado, dentre

¹ Este trabalho foi realizado com apoio do Fundo Setorial para o Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações (FUNTTTEL), através do contrato 0594/02.

outros fatores, das limitações do ambiente e dos dispositivos envolvidos, como por exemplo: a qualidade da transmissão do meio sem fio; os recursos escassos de largura de banda; a grande variabilidade da qualidade do enlace; as limitações dos componentes de hardware, devido ao tamanho e às restrições no consumo de energia; e a própria mobilidade das estações, que implicará na necessidade do gerenciamento de suas localizações.

Pode-se encontrar na literatura uma gama de trabalhos propondo soluções para problemas específicos, envolvendo a provisão de QoS em ambientes móveis sem fio. Dentre esses trabalhos, alguns tratam de extensões ao RSVP (*Resource Reservation Protocol*) [Braden et al. 1997] que empregam o conceito de reservas ativas e passivas [Talukdar et al. 2001], ou adicionam parâmetros temporais no estabelecimento de reservas antecipadas [Pajares et al. 1999], ou ainda efetuam reservas em túneis pré-configurados entre agentes de mobilidade do IP Móvel [Terzis et al. 1999]. Outros trabalhos tratam da utilização de intervalos de QoS para ajustar os parâmetros que definem a qualidade mediante flutuações na disponibilidade dos recursos [Choi 1999, Naghshineh & Willebeek-Lemair 1997]. Há também trabalhos cujo foco está na mobilidade dos usuários, variando desde a adoção de critérios de predição de mobilidade [Chan et al. 1998, Chan & Seneviratne 1999] até a utilização da descrição das requisições de QoS como políticas de autorização (tendo como base as restrições referentes à localização atual do nó) [Chalmers & Sloman 1999, Chugh 2000].

Não existe, entretanto, um trabalho envolvendo a definição de arquiteturas para provisão de QoS que integre as soluções supracitadas, embora essa questão seja um ponto bastante discutido em redes fixas [Aurrecoechea et al. 1995, Nahrstedt & Smith 1995, Gomes 1999]. Em especial, o trabalho apresentado por Gomes [Gomes 1999] define um conjunto de frameworks para provisão de QoS em ambientes genéricos de processamento e comunicação. O principal diferencial desse trabalho em relação a outras propostas de arquiteturas de provisão de QoS reside no fato de que os frameworks propostos capturam uma série de decisões de projeto que são comuns aos vários subsistemas presentes em um ambiente de processamento e comunicação (estações finais, subsistemas de rede, roteadores etc). Por meio do “preenchimento” de determinados *pontos de flexibilização*, chamados por Pree [Pree 1995] de *hot spots*, as estruturas genéricas modeladas pelos frameworks podem ser especializadas para cada subsistema. Além do reuso em si, Gomes [Gomes 1999] mostra como a definição das estruturas comuns especificadas pelos frameworks facilita a construção de mecanismos de orquestração² que integrem os diferentes subsistemas e viabilizem a provisão de QoS fim-a-fim.

Este trabalho propõe o uso dos frameworks genéricos definidos por Gomes [Gomes 1999] na modelagem de arquiteturas de provisão de QoS em redes móveis sem fio. Porém, o uso desses frameworks em ambientes móveis requer não somente especializações, como mencionado no parágrafo anterior, mas também que extensões

² O mecanismo de orquestração dos recursos consiste na divisão de responsabilidade da provisão da QoS, durante o estabelecimento e a manutenção de contratos de serviços, entre os subsistemas que integram o provedor de serviços ou entre os múltiplos recursos de um mesmo subsistema.

sejam acrescentadas. Entre essas, propõe-se a introdução de um *framework para gerenciamento de mobilidade*, que contempla um dos aspectos principais relacionados a redes móveis: a gerência de localização.

O restante deste artigo encontra-se estruturado da seguinte forma. Os principais conceitos associados à provisão de QoS em redes móveis sem fio são sumarizados na Seção 2. O modelo genérico para provisão de QoS definido por Gomes [Gomes 1999] é apresentado na Seção 3, juntamente com as especializações que foram efetuadas para oferecer suporte às redes móveis sem fio. A Seção 4 introduz o framework para gerenciamento de mobilidade, que tem como objetivo alimentar o mecanismo de reservas com informações sobre os possíveis deslocamentos do nó, permitindo a pré-alocação de recursos. Uma instanciação dos frameworks é descrita na Seção 5 através de um cenário de simulação no qual serviços integrados são oferecidos sobre uma rede IP Móvel. A Seção 6 é reservada à apresentação das conclusões obtidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

2. Provendo QoS em Redes Móveis Sem Fio

As alterações frequentes na localização dos nós móveis fazem com que os esquemas de fornecimento de QoS para redes fixas não se adequem aos ambientes sem fio. Ao permitir a mobilidade das estações, a suposição implícita feita, por exemplo, pelo RSVP sobre a existência de pontos finais fixos para a reserva eficiente de recursos (reserva a partir do receptor) se torna inválida. Além disso, é difícil prever quais recursos estarão disponíveis para um nó móvel em suas futuras localizações. A partir dessa afirmativa [Chugh 2000] pode-se dizer que os esquemas atuais não apresentam condições de manter uma mesma QoS negociada ao longo de todo o percurso de um nó móvel. Portanto, é preciso modificar as propostas existentes, tais como o RSVP, ou definir um novo paradigma para oferecer suporte à mobilidade.

Nesta seção, alguns conceitos serão brevemente introduzidos, de modo a familiarizar o leitor com os aspectos que devem ser considerados para se garantir a provisão de QoS em ambientes móveis, como os conceitos de (i) reserva de recursos antecipada, (ii) predição de mobilidade, (iii) intervalos de QoS e (iv) políticas de controle. Esses conceitos são necessários ao entendimento da contribuição deste artigo, e das extensões propostas, apresentadas nas Seções 3 e 4.

2.1 Reserva de Recursos Antecipada

Em ambientes móveis, os deslocamentos dos usuários não devem interferir na provisão dos serviços previamente estabelecidos e na qualidade com a qual eles vêm sendo oferecidos. Para que isso seja possível, faz-se necessária uma pré-alocação dos recursos a serem utilizados em cada uma das localidades que serão visitadas. Um modelo genérico para a pré-alocação de recursos foi introduzido inicialmente no trabalho de Wolf & Steinmetz [Wolf & Steinmetz 1997], que menciona a necessidade de reservas antecipadas, adicionando parâmetros como *tempo inicial* e *duração*. As reservas antecipadas só são efetivadas quando o *tempo inicial* é alcançado, permanecendo nesse estado durante o intervalo de tempo especificado pelo parâmetro *duração*. Embora proposto aqui como solução à mobilidade, esse conceito é necessário também em redes fixas, nas quais, em algumas situações, o cenário típico de reservas imediatas não é

apropriado. Por exemplo, na navegação de um documento hipermídia, com sincronização temporal entre vários objetos de mídia em seqüência, o momento em que a reserva deve ser efetuada para a transmissão de cada mídia e a sua duração são conhecidos com antecedência, necessitando que a reserva seja garantida a posteriori, para não haver perda de sincronismo. Neste caso, nada mais natural, e necessário, que os recursos sejam reservados antecipadamente.

2.2 Predição de Mobilidade

Levando-se em consideração as características particulares dos mecanismos de reserva de recursos em redes móveis sem fio, um dos aspectos que se torna necessário nesses ambientes é a possibilidade de se inferir as futuras localizações de um nó móvel. Por exemplo, várias soluções de reserva antecipada pressupõem a existência de um *arquivo de especificação de mobilidade*³ (*Mobile Specification – MSPEC*), contendo informações referentes às possíveis localizações para as quais o nó móvel irá se deslocar enquanto durar a sessão do usuário, para realizar a orquestração e reserva de recursos. Essas informações podem ser obtidas, por exemplo, a partir de algoritmos de predição de mobilidade, em conjunto com a análise do histórico de deslocamento do usuário (perfil de mobilidade).

2.3 Intervalos de QoS

Tendo em vista a grande flutuação verificada na disponibilidade de recursos nos enlaces sem fio, pode-se empregar o conceito de *intervalos de QoS* [Choi 1999], no qual a especificação de recursos associada a um fluxo de dados não corresponde a um único valor e sim a uma faixa de valores, $[b_{\min}, b_{\max}]$. Essa abordagem dá uma maior flexibilidade ao estabelecimento de novos fluxos, ou mesmo à manutenção daqueles originados a partir de *handovers*⁴. O valor b_{\max} corresponderia a qualidade ótima desejada, enquanto b_{\min} corresponderia a qualidade mínima tolerada, utilizada, caso necessário, para admitir ou rejeitar esses fluxos. A definição de um intervalo de tolerância, com parâmetros de QoS adaptáveis, reduz as interrupções de serviço provocadas pelo *handover* e melhora a utilização de recursos em ambientes sem fio. Essa abordagem é também útil na adequação da reserva de recursos ao *contexto do sistema*, como por exemplo, ao tipo de dispositivo utilizado pelo receptor, além de assegurar uma melhor distribuição dos recursos e maximizar o número de usuários atendidos.

2.4 Políticas de Controle

As políticas de controle são de fundamental importância em ambientes móveis, já que são elas as responsáveis por definir as permissões de um usuário em uma dada área de

³ A especificação de mobilidade descreve o provável itinerário a ser seguido pelo nó móvel, contendo a seqüência de deslocamentos que serão realizados, podendo apresentar informações temporais (como o instante em que cada deslocamento irá ocorrer e o tempo de permanência em cada localidade visitada).

⁴ *Handover* é o processo de transferência de estações móveis de uma estação rádio base para outra ou de um canal de comunicação para outro.

cobertura. Em ambientes que oferecem suporte à mobilidade, além de se avaliar se existem ou não recursos disponíveis no sistema (controle de admissão), deve haver ainda uma preocupação com as políticas de controle de acesso aos recursos de uma determinada localidade para um dado usuário. De uma região para outra as permissões de acesso referentes a um usuário podem mudar em decorrência de questões relacionadas a diferentes fatores como segurança, por exemplo.

3. Um Modelo Genérico para Provisão de QoS

Muitas propostas têm sido apresentadas com a finalidade de modelar a integração dos mecanismos envolvidos na provisão da QoS em um sistema de comunicação [Aurrecoechea et al. 1995, Nahrstedt & Smith 1995, Gomes 1999]. Todos eles se baseiam em modelos genéricos de operação do sistema e, a partir desses modelos, definem uma arquitetura para provisão de QoS com características específicas. Por exemplo, Gomes [Gomes 1999] apresenta as seguintes fases de provisão de QoS, que servirão de base para este artigo:

- *Iniciação do Sistema.* O processo de iniciação do sistema está relacionado à definição da infra-estrutura que dará suporte aos serviços oferecidos e que determinará a forma de descrição do estado interno da mesma. As informações sobre a disponibilidade de recursos do ambiente fazem parte da especificação do estado interno de um provedor.
- *Requisição de Serviços.* Após a iniciação do sistema, usuários podem requisitar serviços a qualquer momento. Uma requisição é feita através da caracterização da carga de processamento e comunicação a ser produzida ou consumida pelos usuários, e da especificação da QoS desejada.
- *Estabelecimento de Contratos de Serviço.* A fase de estabelecimento de contratos é iniciada quando uma nova requisição de serviço é recebida. O sistema determinará então se existem recursos suficientes para garantir a QoS desejada pelo usuário e se a admissão dos seus fluxos não irá provocar uma degradação na QoS dos fluxos previamente admitidos. A admissão de um novo contrato de serviço resultará na *alocação dos recursos* necessários ao atendimento do serviço, ocasionando mudanças no estado interno do sistema. Caso o sistema não possua recursos disponíveis para atender à solicitação do usuário, o pedido será rejeitado, podendo dar início a uma nova negociação.
- *Manutenção de Contratos de Serviço.* Quando os fluxos do usuário são admitidos, o sistema deve garantir que a QoS negociada seja mantida durante todo o tempo que durar a comunicação. Como em todo contrato, ambas as partes envolvidas devem colaborar, ou seja, o usuário deve ater-se à carga caracterizada e o sistema deve manter a QoS negociada. Para que os contratos estabelecidos possam ser mantidos, é necessário efetuar medições periódicas referentes à QoS que está sendo fornecida aos usuários do sistema, de modo que, ao se detectarem condições inadequadas para

a manutenção dos fluxos admitidos, os mecanismos de *sintonização*⁵ e *renegociação*⁶ possam ser disparados. O não cumprimento do contrato, por uma das partes, pode ocasionar desde uma mera notificação até a interrupção do serviço para aquele usuário.

Os mecanismos envolvidos nas fases supracitadas foram modelados em [Gomes 1999] por meio dos seguintes frameworks genéricos: (i) *framework para parametrização de serviços*, (ii) *frameworks para compartilhamento de recursos*, composto pelos frameworks de escalonamento e alocação de recursos, e (iii) *frameworks para orquestração de recursos*, composto pelos frameworks de negociação e sintonização da QoS. Nesses frameworks, além dos *hot spots* que permitem a especialização dos frameworks para diferentes subsistemas (denominados em [Gomes et al. 2001] de *hot spots* específicos de ambiente), são definidos também *hot spots* que devem ser mantidos suficientemente flexíveis para possibilitar futuras adaptações ao subsistema, como a introdução de novos algoritmos de escalonamento e controle de admissão, sendo denominados de *hot spots* específicos de serviço. O resultado do preenchimento dos *hot spots* específicos de ambiente são outros frameworks, refinados para um subsistema específico. Esses frameworks são usados na construção de arquiteturas adaptáveis de provisão de QoS, como as propostas para redes IP em [Mota et al. 2001] e sistemas operacionais em [Moreno 2002]. A adaptabilidade dos subsistemas implementados segundo essas arquiteturas é conseguida por meio do contínuo preenchimento dos *hot spots* específicos de serviço, permitindo o atendimento a diferentes características de QoS. A Figura 1 ilustra os procedimentos de refinamento e instanciação dos frameworks genéricos.

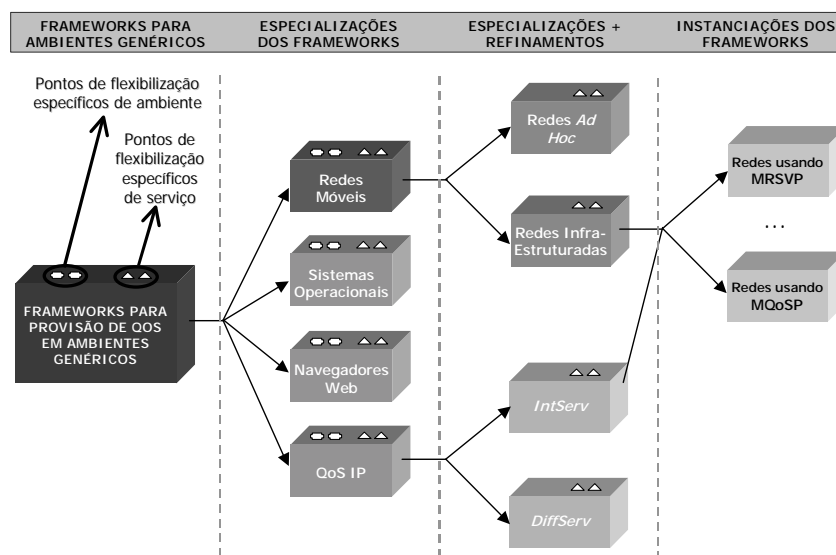


Figura 1. Instanciando os frameworks genéricos para as redes móveis

⁵ Mecanismo responsável pelo redimensionamento da parcela de utilização dos recursos, a qual foi disponibilizada ao usuário do serviço durante a negociação da QoS, na fase de estabelecimento de contratos de serviço.

⁶ Uma nova negociação só será efetuada se o redimensionamento realizado pelo mecanismo de sintonização não for bem sucedido.

3.1 Avaliando o Modelo Genérico para as Redes Móveis Sem Fio

Embora algumas características inerentes aos ambientes móveis tenham sido consideradas, os frameworks genéricos não contemplam algumas das questões específicas referentes a essas redes, em especial aquelas influenciadas pela mobilidade dos usuários, conforme discutido na Seção 2. O presente trabalho objetiva preencher essas lacunas, por meio:

- da introdução do framework para gerenciamento de mobilidade ao conjunto de frameworks que compõem o modelo genérico (Seção 4), com a finalidade de contemplar a manutenção dos históricos de deslocamento dos usuários e a predição da mobilidade; e
- do preenchimento de *hot spots* definidos nos frameworks genéricos, cobrindo questões referentes à mobilidade do usuário (Subseção 3.2), tais como:
 - a pré-alocação de recursos, de modo que as reservas possam ser efetuadas levando em conta os deslocamentos do nó;
 - os intervalos de tolerância de QoS; e
 - as políticas de controle que irão definir as permissões de acesso dos usuários em diferentes domínios administrativos.

3.2 Especializando o Modelo Genérico para as Redes Móveis Sem Fio

Esta subseção ilustra uma especialização dos frameworks genéricos focada na mobilidade dos usuários, dando origem aos *frameworks para provisão de QoS em redes móveis sem fio*. São salientados e identificados os *hot spots* que foram preenchidos com os conceitos apresentados na Seção 2.

Na descrição conceitual dos frameworks, foi adotada a linguagem UML (*Unified Modeling Language*) [UML 1997] como ferramenta de especificação e documentação. Nos diagramas de classe as classes-base (cinzas) foram diferenciadas daquelas que representam possíveis *hot spots* (brancas). Utilizou-se também uma grafia diferenciada para representar as classes abstratas (em *itálico*) e concretas. Por questão de espaço, detalhes acerca dos frameworks foram omitidos, podendo ser encontrados em [Lima 2002].

Nos frameworks genéricos, a estruturação dos parâmetros que caracterizam a QoS é definida através do framework para parametrização de serviços. Como pode ser observado na Figura 2, os intervalos de QoS são introduzidos através do uso de qualificadores de parâmetros, representados pela classe abstrata *Qualifier*. Os parâmetros passam então a ser representados por um conjunto de qualificadores, modelado através do relacionamento de agrupamento *qualifierList*. Dessa forma, os parâmetros, antes representados de uma forma pontual, podem agora ser valorados por meio de intervalos.

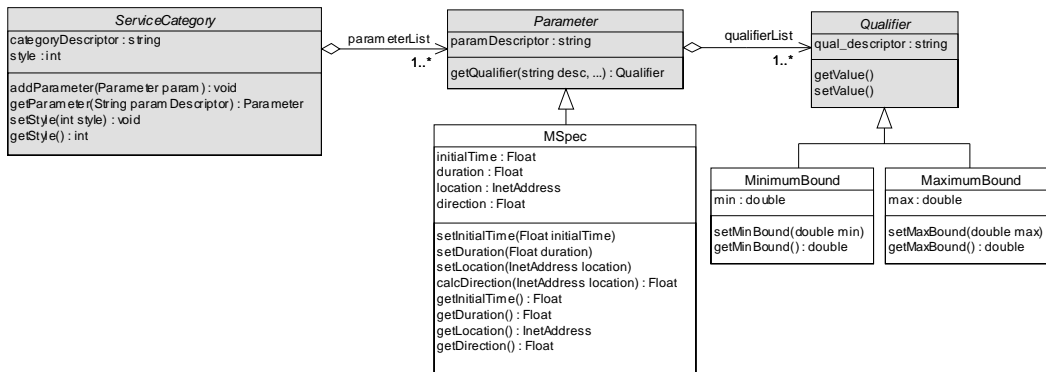


Figura 2. Especializando o framework para parametrização de serviços

Para lidar com as constantes flutuações na disponibilidade de recursos nos ambientes móveis e maximizar a sua utilização, os controladores de admissão e agentes de sintonização, representados nos frameworks para orquestração de recursos pelas classes *AdmissionController* (Figura 3) e *AdjustmentController* (Figura 4), devem implementar algoritmos que levem em consideração os limites máximos e mínimos definidos através dos intervalos de QoS.

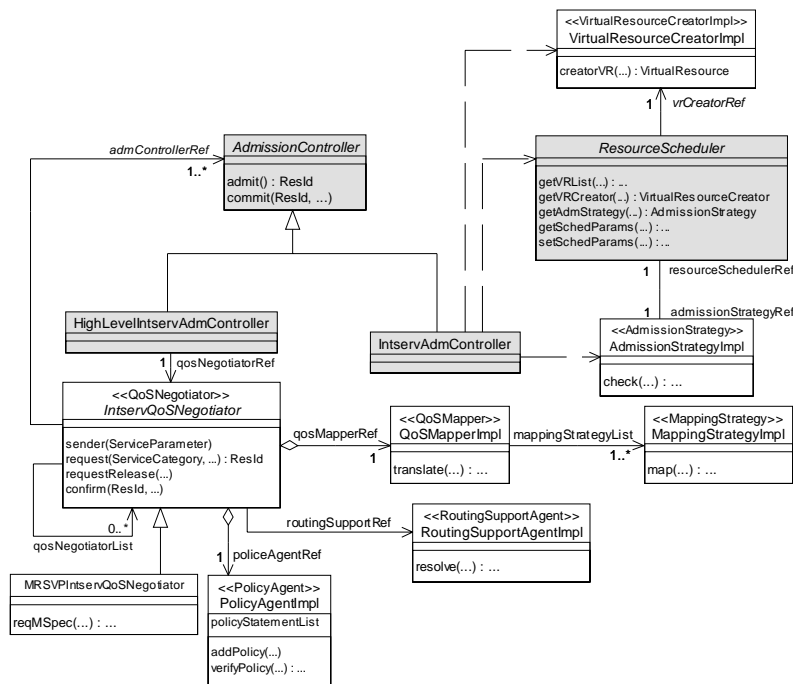


Figura 3. Especializando o framework para negociação da QoS

As políticas de controle são associadas aos controladores de admissão nos frameworks para negociação da QoS, validando o acesso dos usuários aos recursos pertencentes a domínios administrativos distintos. Os parâmetros informados quando a classe *AdmissionController* é acionada serão confrontados com as restrições estabelecidas pelas políticas de controle que foram configuradas no provedor do serviço, determinando o fornecimento ou não do serviço ao usuário. Esse controle é realizado através da implementação de objetos da classe abstrata *PolicyAgent* (Figura 3).

Quando se oferece suporte à mobilidade, há uma preocupação maior com as restrições de acesso que podem ser encontradas quando as estações se deslocam entre localidades administrativas diferentes.

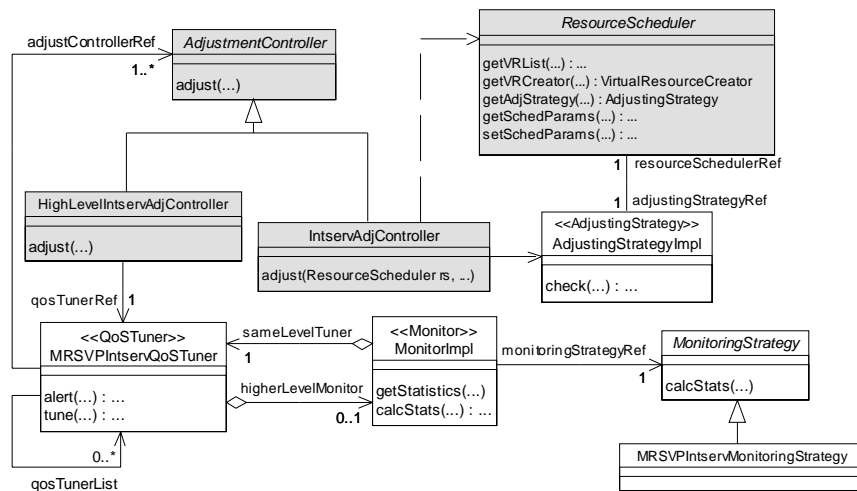


Figura 4. Especializando o framework para sintonização da QoS

4. Gerenciamento e Predição de Mobilidade

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de oferecer mecanismos de predição dos deslocamentos do usuário que auxiliem no processo de gerenciamento da mobilidade. Esses mecanismos se propõem a disponibilizar, com uma certa antecedência, estimativas relacionadas aos possíveis deslocamentos das estações móveis e, em alguns casos, informações de sincronismo, como o tempo de permanência da estação em cada célula e o tempo total da conexão.

Para que se possa determinar antecipadamente os futuros deslocamentos do usuário de modo a se construir a sua especificação de mobilidade, além de se adotar uma heurística de predição, é necessário manter informações a respeito do histórico de deslocamentos. Vários trabalhos encontrados na literatura [Chan et al. 1998, Nacif 2001 e Aljadhai 1999] ilustram algumas das técnicas comumente empregadas na predição da mobilidade do usuário e o seu estreito relacionamento com a manutenção de históricos de mobilidade. Uma percepção comum é que os movimentos dos usuários apresentam um certo nível de regularidade, e é essa regularidade, registrada nos históricos de mobilidade, que torna possível a utilização de mecanismos de predição.

Na verdade, os arquivos de especificação de mobilidade mencionados por Talukdar et al. [Talukdar et al. 2001] e Pajares et al. [Pajares et al. 1999] podem ser vistos como um caso particular de uma base de dados administrada pelo gerenciador de mobilidade, que seria o responsável pela manutenção dessas informações. Nesse caso, as informações relacionadas à localização do nó móvel são atualizadas localmente pelo próprio nó, o que caracteriza uma abordagem distribuída. Uma outra possibilidade seria a implementação de um gerenciador centralizado que controlaria informações referentes aos registros de localização de todos os nós. Dessa forma, o gerenciamento de mobilidade pode ser implementado adotando duas abordagens distintas, mas que poderão interagir para atender de forma mais eficiente às demandas por informações

referentes à mobilidade do usuário: a (i) *abordagem centralizada* e a (ii) *abordagem distribuída*.

A *abordagem centralizada* define dois papéis bem claros no mecanismo de gerenciamento de mobilidade: o de agente de mobilidade (AM) e o de gerente de mobilidade (GM), como ilustrado na Figura 5. O GM seria o responsável pela coleta das informações (enviadas pelos AMs) relativas ao deslocamento das estações móveis e pelo seu processamento, criando históricos de mobilidade e fornecendo previsões com a especificação de mobilidade para cada estação, obedecendo a diferentes critérios de previsão e modelos de mobilidade. Mesmo o modelo sendo centralizado, os gerentes podem estar distribuídos através de diferentes *áreas de localização*⁷ (ALs). Uma abordagem semelhante é observada quando se utiliza o conceito de *clusters*. A idéia por trás dos *clusters* é semelhante à das ALs dinâmicas [Nacif 2001], ou seja, agrupar células, dinamicamente, com base na mobilidade do usuário. Pode-se ainda pensar em uma arquitetura hierárquica de gerentes que englobaria diferentes ALs. Os gerentes estariam interagindo de forma a obter itinerários que abrangessem uma maior área geográfica, de acordo com a necessidade de previsão de cada unidade móvel. No modelo centralizado, os gerentes poderiam atuar nas próprias estações rádio base (ERBs) das ALs ou, utilizando os conceitos introduzidos pelo IP Móvel [Perkins 1996], poderiam estar associados aos agentes locais (*Home Agent – HA*) dos nós móveis (NMs) ou mesmo aos agentes estrangeiros (*Foreign Agent – FA*), quando o nó móvel estivesse visitando uma nova localidade.

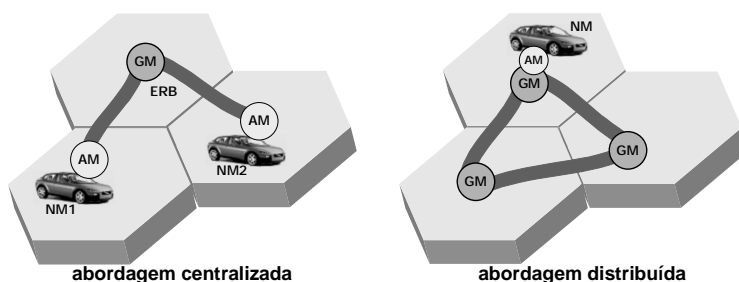


Figura 5. Abordagens para o gerenciamento de mobilidade

Na *abordagem distribuída*, o gerente não pode ser apresentado como um componente propriamente dito, mas será uma abstração representada pela colaboração entre gerentes de mobilidade independentes (Figura 5). O gerenciamento da mobilidade é efetuado em cada unidade móvel, através do seu GM. Este será acionado localmente pelo AM e se encarregará de estabelecer comunicações com tantos gerentes (externos) quantos forem necessários para obter as informações referentes a especificação de mobilidade do nó. Um comportamento semelhante será verificado no momento da atualização das informações sobre a localização atual da unidade móvel. Pelo que foi exposto, é possível ter unidades móveis se comunicando para trocar, ou mesmo atualizar, informações sobre deslocamentos em uma determinada AL ou entre ALs distintas. Este cenário, como pode ser observado, se adequa a ambientes *ad hoc*, nos

⁷ ALs são o resultado da divisão da área de serviço total em áreas geográficas menores. O planejamento das ALs é uma tarefa complexa e consiste na definição da localização e abrangência de cada AL, ou seja, quais as células que as compõem.

quais não existem elementos fixos centrais aos quais se possa confiar a tarefa de gerenciamento da mobilidade dos usuários.

Nada impede que os modelos centralizado e distribuído possam atuar em conjunto em um cenário de gerenciamento de mobilidade. Uma estratégia que poderia ser adotada seria deixar a definição da abordagem a ser utilizada para o tempo de execução.

4.1 O Framework para Gerenciamento de Mobilidade

O framework para gerenciamento de mobilidade incorpora o mecanismo de gerenciamento de localização, que se traduz na manutenção do histórico de mobilidade do usuário, e o de predição da mobilidade, que emprega heurísticas para definir, antecipadamente, a trajetória do nó com base no seu histórico.

A Figura 6 ilustra as classes e os respectivos relacionamentos que constituem o framework para gerenciamento de mobilidade. O gerenciador de mobilidade pode ser acionado em duas situações: (i) o nó se deslocou e deseja atualizar o seu histórico de mobilidade ou (ii) o nó deseja obter a sua especificação de mobilidade, informando o critério de predição e a classe para comunicação entre agentes e gerentes que deverá ser adotada.

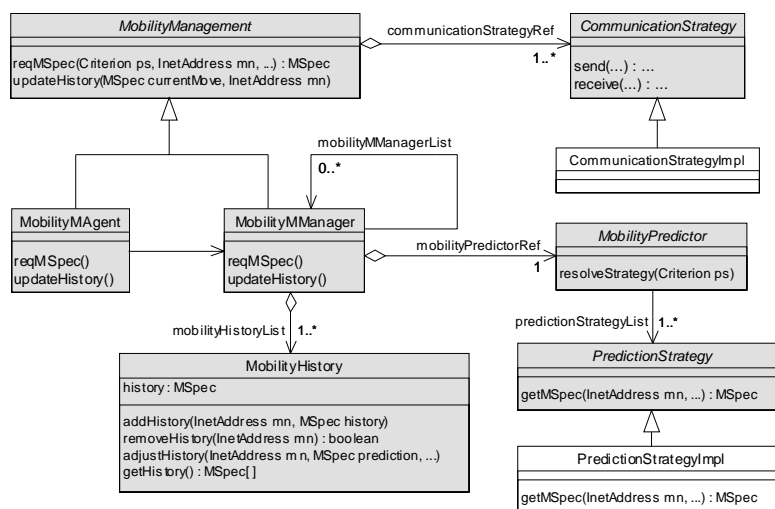


Figura 6. O framework para gerenciamento de mobilidade

A classe abstrata *MobilityManagement* é redefinida nas subclasses *MobilityMAgent* e *MobilityMManager*. A partir dessas redefinições, podem ser representadas as responsabilidades de cada um desses componentes (agente e gerente) no processo de gerenciamento de mobilidade. A relação de agregação *communicationStrategyRef* entre as classes abstratas *MobilityManagement* e *CommunicationStrategy* define a estratégia de comunicação a ser adotada entre agentes e gerentes e entre gerentes de mobilidade de localidades distintas, permitindo que diferentes protocolos de comunicação e formatos de mensagens sejam utilizados.

O gerente de mobilidade, representado pela subclasse *MobilityMManager*, é o responsável pela atualização das informações contidas no histórico de mobilidade do usuário, representado pela classe *MobilityHistory*. Ao ser acionado, o gerente de

mobilidade se responsabiliza por garantir que as informações sobre o deslocamento atual do usuário possam ser adicionadas ao seu histórico de mobilidade (na lista `mobilityHistoryList`), mantendo a integridade das informações armazenadas. Antes que as informações relacionadas à localização atual de um usuário específico sejam inseridas, é necessário que se faça uma verificação para assegurar que o resultado apontado pela predição corresponde ao deslocamento real efetuado pelo nó (método `adjustHistory()` da classe `MobilityHistory`).

`MobilityMManager` faz referência às estratégias de predição através da associação `mobilityPredictorRef` com a classe abstrata `MobilityPredictor`. Quando solicitado, o gerente aciona o preditor de mobilidade para definir, a partir da indicação do usuário, qual estratégia de predição deve ser utilizada. O gerente passa então a alimentar a estratégia de predição escolhida com o histórico de mobilidade do usuário (`MobilityHistory`). Uma adaptação ao *pattern* comportamental *Strategy* [Gamma et al. 1995] pode ser verificada através do relacionamento entre as classes `MobilityMManager` e `MobilityPredictor`, permitindo que uma instância da classe `MobilityMManager` seja configurada com um objeto da classe `PredictionStrategy`, especificado na solicitação do usuário.

O relacionamento recursivo de associação `mobilityMManagerList` (classe `MobilityMManager`) indica a possibilidade de se implementar o gerenciamento de mobilidade de forma centralizada ou distribuída.

A adoção de um critério de predição em detrimento de outro, a incorporação de perfis de mobilidade ou mesmo a definição de uma estratégia de comunicação são identificados como *hot spots* do framework para gerenciamento de mobilidade.

5. Cenário de Uso

Esta seção descreve uma instanciação dos frameworks para provisão de QoS em redes móveis sem fio através de um cenário no qual é simulada uma rede infra-estruturada⁸ de serviços integrados funcionando sobre o IP Móvel. Para validar esta proposta, foi implementado um protocolo de reserva de recursos simplificado denominado SMQoSP (*Simple Mobile QoS Protocol*), oferecendo suporte aos conceitos de reservas antecipadas e intervalos de QoS, baseado nos protocolos MRSVP (*Mobile ReSerVation Protocol*) [Talukdar et al. 2001] e MQoSP (*Mobile QoS Protocol*) [Pajares et al. 1999].

Foi utilizado um ambiente simulado criado com o auxílio do MobiCS [Rocha & Endler 2000], uma ferramenta integrada para prototipagem, teste e avaliação de protocolos distribuídos, implementado como uma biblioteca Java. As simulações foram realizadas em uma estação Pentium III, com 256 Mb de RAM e sistema operacional Microsoft Windows 2000.

O protótipo, que oferece um subconjunto significativo dos serviços definidos na arquitetura apresentada nas Seções 3 e 4, é constituído pelos seguintes elementos: (i) um protocolo de reserva de recursos com suporte à mobilidade que estende a instanciação

⁸ Uma rede é dita infra-estruturada quando a comunicação da estação móvel se dá sempre com uma estação fixa, que fornece suporte à mobilidade (estação base).

de uma versão simplificada do IP Móvel desenvolvida no MobiCS [Mele & Rolins 2001] e (ii) um gerenciador de mobilidade centralizado, com o agente local desempenhando o papel de gerente de mobilidade.

Sem perda de generalidade, com o objetivo de manter como foco a validação e análise do comportamento do mecanismo de reserva de recursos, efetuou-se uma série de simplificações na implementação do cenário-exemplo:

- no estabelecimento de uma reserva, o nó fixo é sempre a origem (transmissor) e o nó móvel é sempre o destino (receptor);
- as estações móveis têm acesso irrestrito a todas as células definidas no cenário, ou seja, as políticas de controle não são utilizadas para validar o acesso das estações móveis nos diferentes domínios administrativos;
- a implementação do IP Móvel que serve de base para a instanciação do SMQoSP trabalha no modo de roteamento triangular, fazendo algumas simplificações ao modelo proposto por Perkins [Perkins 1996];
- as mensagens de sinalização foram simplificadas, contendo apenas informações referentes ao endereço do transmissor e do receptor, o identificador da reserva, a quantidade de recursos (no exemplo, somente largura de banda) solicitada (intervalos de QoS) e a quantidade de recursos disponível;
- nesse cenário, assim como no protocolo MQoSP, somente são consideradas reservas nas estações base; e
- o cenário não oferece suporte a multicast.

Assim como no protocolo MQoSP, no SMQoSP foram definidas mensagens especiais que são trocadas entre o nó móvel e o seu agente local para que esse efetue reservas antecipadas em seu benefício. As reservas antecipadas não possuem parâmetros temporais como as mensagens do MQoSP, seguindo o modelo de reservas passivas e ativas do MRSVP. Essa limitação se deve ao fato do ambiente de simulação não oferecer mecanismos para obtenção do tempo simulado⁹.

Para ilustrar o funcionamento do protocolo SMQoSP foram criados dois cenários determinísticos¹⁰. Devido às limitações encontradas no ambiente, não foi possível utilizar, nas simulações, todos os critérios de predição de mobilidade discutidos em [Chan et al. 1998, Nacif 2001, Aljadhari 1999]. Como não existe no MobiCS uma primitiva que forneça o tempo simulado e mecanismos para obtenção do posicionamento geográfico¹¹ e da velocidade de deslocamento (utilizando, por exemplo,

⁹ O MobiCS utiliza o conceito de unidades de tempo simulado no modo de simulação estocástico e obedece a uma seqüência de execução de eventos (passos de simulação) no modo determinístico.

¹⁰ No modo determinístico o usuário define um *script* de simulação descrevendo um cenário particular, que é executado passo a passo, permitindo a observação do estado do protocolo ou do objeto de rede.

¹¹ No MobiCS, atualmente, toda localização é mapeada em uma célula, portanto, o posicionamento geográfico de um nó móvel está unicamente relacionado a célula na qual ele se encontra. Entretanto, um módulo adicional poderia ser incorporado ao MobiCS permitindo a obtenção de informações relacionadas ao posicionamento geográfico do nó.

um GPS – *Global Positioning System*), os critérios que se baseiam na análise de informações temporais e nas relacionadas à direção do deslocamento foram descartados, sendo utilizados apenas os critérios que se baseiam na localização.

Durante a simulação, foi utilizado também um algoritmo de controle de admissão que leva em consideração os intervalos de QoS.

Com os resultados obtidos, verificou-se que a adoção dos intervalos, juntamente com as estratégias de predição de mobilidade, possibilitaram que um maior número de usuários fossem atendidos, apesar das limitações dos critérios de predição adotados. A despeito das limitações do ambiente de simulação, a modelagem das diferentes funções e estruturas de provisão de QoS em redes móveis sem fio com a utilização dos frameworks permitiu a fácil representação de diferentes cenários de mobilidade a partir do preenchimento dos *hot spots* destacados nas Seções 3.2 e 4.1.

6. Conclusões

O desenvolvimento dos frameworks para provisão de QoS em redes móveis sem fio partiu de um estudo aprofundado dos ambientes que oferecem suporte à mobilidade. O objetivo foi o fornecimento de serviços com qualidade, levando em consideração as peculiaridades desses ambientes, como as mudanças dinâmicas da topologia da rede, o deslocamento dos nós móveis entre áreas de cobertura vizinhas, o desvanecimento das conexões e as flutuações na disponibilidade de recursos, entre outros.

Uma das principais contribuições deste trabalho foi a definição de uma arquitetura genérica para provisão de QoS em redes móveis sem fio, integrando várias soluções discutidas na literatura. A descrição dessa arquitetura traz em si a definição de estruturas básicas que podem ser reutilizadas em vários subsistemas. Além do reuso, a definição de estruturas comuns facilita a construção de mecanismos de orquestração, fundamentais para uma provisão de QoS fim-a-fim.

Tomando como base um conjunto de frameworks para provisão de QoS em ambientes genéricos de processamento e comunicação definido por Gomes [Gomes 1999], várias extensões e especializações foram realizadas, introduzindo os conceitos de reserva de recursos antecipada, intervalos de QoS, políticas de controle e a definição de um framework para gerenciamento de mobilidade.

Cabe ressaltar que vários trabalhos que se propõem a oferecer QoS aos serviços disponibilizados em redes móveis não incorporam o mecanismo de gerenciamento de mobilidade, fundamental para o estabelecimento de reservas antecipadas. Este trabalho acopla o módulo de gerenciamento de mobilidade à arquitetura de provisão de QoS, promovendo uma cooperação entre os mecanismos de predição de deslocamentos e de reserva de recursos.

Embora a especificação do framework tenda a ser genérica do ponto de vista de redes móveis sem fio, a instanciação do cenário de uso se restringiu às redes infra-estruturadas com a simulação de um protocolo de reserva de recursos simplificado denominado SMQoS. A instanciação dos frameworks para as redes *ad hoc* por meio da adaptação dos *hot spots* dos frameworks propostos é possível, mas é importante salientar que este não foi um compromisso deste trabalho.

O framework para gerenciamento de mobilidade incorpora o mecanismo de gerenciamento de localização, que se traduz na manutenção do histórico de mobilidade do usuário, e o de predição da mobilidade, que emprega heurísticas para inferir a trajetória do nó com base no seu histórico. Embora definido no contexto de provisão de serviços com QoS, o uso deste framework não se limita a esse cenário.

Dentro de uma visão mais geral, pode-se observar que a especificação da mobilidade do usuário, obtida por meio do mecanismo de predição, pode ser vista como uma informação associada ao contexto, assim como as informações relacionadas ao *handover*. A partir dessa percepção, propõe-se como trabalho futuro um *framework para gerenciamento de contexto*, que englobaria, entre outros, os mecanismos relacionados ao gerenciamento de mobilidade (predição e gerenciamento de localização) e ao gerenciamento de *handover* (políticas de controle, registro, transferência de contexto) [Endler & Nagamuta 2002], refinando o mecanismo de reserva de recursos antecipada, de modo a atender de forma mais eficiente um maior número de usuários.

7. Referências

- Aljadhari, AbdulRahman. "A Framework for Adaptive and Predictive QoS Support in Wireless and Mobile Networks". Ph. D. Thesis. Computer Science Department, University of Pittsburgh, Abril de 1999.
- Aurrecoechea, C.; Campbell, A.; Blair, G.S. "A Review of QoS Architectures". In: ACM Multimedia Systems Journal, Novembro de 1995.
- Braden, R., et al. "Resource ReSerVation Protocol (RSVP)". RFC 2205, Setembro de 1997.
- Chalmers, D.; Sloman, M. "QoS and Context Awareness for Mobile Computing". In: 1st Intl. Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'99), Alemanha, Setembro de 1999.
- Chan, J.; Seneviratne, A. "A Practical User Mobility Prediction Algorithm for Supporting Adaptive QoS in Wireless Networks". In: IEEE International Conference on Networks, 1999.
- Chan, Jonathan, Zhou, S.; Seneviratne, Aruna. "A QoS Adaptive Mobility Prediction Scheme for Wireless Networks". In: Globecom98. Sidney, Austrália, 1998.
- Choi, Sunghyun. "QoS Guarantees in Wireless/Mobile Networks". PhD Thesis. University of Michigan, 1999.
- Chugh, Sarabjeet Singh. "Supporting Quality of Service in Mobile Networks". Final Project Report. Abril de 2000.
- Endler, M.; Nagamuta, V. "General Approaches for Implementing Seamless Handover". Proc. of the ACM Principles of Mobile Computing, Toulouse, Outubro de 2002.
- Gamma, Erich, et al. "Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software". Addison Wesley, 1995. ISBN 02-016-3361-2.
- Gomes, A.T.A.; Colcher, S.; Soares, L.F.G "Um Framework para Provisão de QoS em Ambientes Genéricos de Processamento e Comunicação". In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC'99). Salvador, 1999.

- Gomes, A.T.A.; Colcher, S.; Soares, L.F.G. "Modeling QoS Provision on Adaptable Communication Environments". In: IEEE ICC2001, Finlândia, Junho de 2001.
- Lima, Luciana dos Santos. "Um Framework para provisão de QoS em Redes Móveis Sem Fio". Dissertação de Mestrado. Departamento de Informática. PUC-Rio, Agosto de 2002.
- Mele, A.; Rolins, C. "Implementação do Roteamento Triangular do IP Móvel no Ambiente MobiCS". Trabalho da Disciplina Introdução à Computação Móvel. Departamento de Informática, PUC-Rio. Novembro de 2001.
- Moreno, M.F. "Um Framework para provisão de QoS em Sistemas Operacionais". Dissertação de Mestrado. Departamento de Informática. PUC-Rio, Agosto de 2002.
- Mota, O.T.J.D.D.L., et al. "Uma Arquitetura Adaptável para Provisão de QoS na Internet". In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), Florianópolis, SC, Maio de 2001.
- Naghshineh, Mahmoud; Willebeek-Lemair, Marc. "End-to-End QoS Provisioning in Multimedia Wireless/Mobile Networks Using an Adaptive Framework". In: IEEE Communications. Vol 35, Nº 11, Novembro de 1997.
- Nahrstedt K.; Smith. J. "The QoS Broker", IEEE Multimedia, 1995.
- Pajares, A., et al. "Approach to Support Mobile QoS in an Integrated Services Packet Network". In: Proceedings of 1st Workshop on IP Quality of Service for Wireless and Mobile Networking (IQWiM), Alemanha, Abril de 1999.
- Perkins, C. E. "IP Mobility Support". RFC 2002, Outubro de 1996.
- Pree, W. "Design Patterns for Object-Oriented Software Development", Addison Wesley, 1995.
- Rational Software Corporation. "UML Notation Guide". Setembro de 1997.
- Rocha, Mauro Nacif. "Simulação e Gerenciamento de Unidades Móveis em Ambientes de Comunicação sem Fio". Tese de Doutorado. UFMG, Abril de 2001.
- Rocha, R.C.A. da; Endler, M. "Um Simulador de Protocolos Distribuídos para Computação Móvel. In: 2º Workshop de Comunicação sem Fio (WCSF), pp. 33-48, DCC/ICEx/UFMG, Belo Horizonte, Maio de 2000.
- Talukdar, Anup K.; Badrinath, B.R.; Acharya, Arup. "MSRVP: A Reservation Protocol for an Integrated Services Packet Network with Mobile Hosts". The Journal of Wireless Networks, Vol. 7, No. 1, 2001.
- Terzis, A.; Srivastava, M.; Zhang, L. "A Simple QoS Signaling Protocol for Mobile Hosts in the Integrated Services Internet". In: Proc. of IEEE INFOCOM99, Vol. 3, Março de 1999.
- Wolf, L.C.; Steinmetz, R. "Concepts for Resource Reservation in Advance". In: Proc. of Journal of Multimedia Tools and Applications. Vol. 04, No. 3, Maio de 1997.