

# 1 Introdução

A evolução das tecnologias de redes de computadores sem fio e a alta disponibilidade da Internet como meio global de comunicação, juntamente com a integração de tecnologias de telecomunicações e de transmissão de dados, estabeleceram nos últimos anos um cenário que permite que dispositivos estejam conectados em qualquer lugar e a qualquer momento, proporcionando também uma alta disponibilidade de serviços. Em paralelo, ocorreu uma proliferação de dispositivos computacionais portáteis dos mais variados tipos, que oferecem aos usuários níveis de interação e de recursos quase tão poderosos quanto aos dos computadores de mesa tradicionais. Todos estes avanços têm levado a um crescimento da demanda por aplicações e serviços que tirem proveito da conectividade e mobilidade dos dispositivos.

Entretanto, garantir a conectividade entre os componentes de uma aplicação/sistema em um cenário em que os dispositivos mudam de endereço IP apresenta desafios, pois a Internet não foi originalmente projetada para suportar a mobilidade de dispositivos. Por exemplo, na Internet os endereços IP são utilizados tanto para a identificação quanto para o endereçamento de dispositivos, amarrando um dispositivo identificado por um endereço IP à localização (i.e. ponto de anexação com a rede) a qual este mesmo endereço é representado como caminho de roteamento. Soluções que contornam as principais limitações da arquitetura da Internet quanto à mobilidade, implementando mecanismos tanto na rede como nos dispositivos finais são conhecidas como soluções de Gerenciamento de Mobilidade. Estas soluções permitem, por exemplo, que os dispositivos tenham um identificador independente de localização na rede, e oferecem Gerenciamento de Localização, para que os dispositivos permaneçam alcançáveis pelos demais nós da rede mesmo após se moverem entre diferentes sub-redes (Henderson e Works, 2003). Uma questão central abordada neste trabalho é a investigação destas soluções para a viabilização de aplicações no ambiente de mobilidade. O Capítulo 3 apresenta uma investigação sobre as

principais soluções de Gerenciamento de Mobilidade, em geral, e a discussão da abordagem mais indicada a ser utilizada e implantada juntamente com um sistema para garantir a conectividade entre seus componentes em um cenário de mobilidade de nós na Internet. Em seguida, no Capítulo 4, é apresentada a implementação de uma solução de Gerenciamento de Mobilidade na camada de aplicação que utiliza o protocolo SIP (Session Initiation Protocol) (Rosenberg, Schulzrinne et al., 2002) baseada no trabalho apresentado por (Wedlund e Schulzrinne, 1999). Esta solução foi implementada como uma API que pode ser utilizada por qualquer aplicação ou serviço que necessite de uma solução de Gerenciamento de Mobilidade baseada no protocolo SIP.

Outra questão importante a ser considerada são os principais tipos de aplicações que podem se beneficiar de uma solução de Gerenciamento de Mobilidade tal como a implementada neste trabalho. Dentre muitos tipos de aplicações existentes para o ambiente móvel, podemos destacar aquelas utilizadas para disseminação de informações, que oferecem, por exemplo, avisos sobre cotações de ações, difusão de notícias, serviços baseados em localização, notificação de compromissos, etc. Uma característica geral de tais aplicações, sobretudo para ambientes com mobilidade de dispositivos, é que as interações entre dispositivos devem ocorrer de forma assíncrona e anônima, uma vez que as entidades envolvidas nestas interações geralmente não são conhecidas de antemão, os produtores e consumidores de informações não precisam necessariamente estar sempre conectados à rede e esse modo de comunicação permite atender a um número potencialmente grande de dispositivos (Cugola e Jacobsen, 2002).

O paradigma de comunicação do tipo requisição/resposta (também conhecido como “pull”) não atende bem aos requisitos impostos por este tipo de aplicações, pois para conseguir informações atualizadas, os clientes necessitariam ficar enviando periodicamente requisições para os serviços, o que geraria uma sobrecarga no(s) servidor(es) e na rede. Requisições desnecessárias de informações também iriam aumentar o consumo de energia disponível nos dispositivos móveis. O modelo de entrega ativa e imediata de informação, do produtor para o consumidor da informação (também conhecido como “push”) pode ser realizado através do paradigma de interação de publicação/subscrição (publish/subscribe, ou pub/sub). Segundo esse paradigma, consumidores de

informações se registram na infra-estrutura publish/subscribe especificando um interesse sobre os eventos que desejam receber. Os produtores de informações publicam eventos no sistema, através do envio destes para servidores da infra-estrutura, e estes se encarregam de entregar as notificações da ocorrência dos eventos aos consumidores que especificaram um interesse que corresponda ao evento publicado. Desta forma, este paradigma oferece uma interação assíncrona e anônima para os participantes das comunicações que se adequa muito bem aos requisitos de um cenário de mobilidade, pois produtores e consumidores podem entrar e sair dinamicamente do sistema (Cugola e Jacobsen, 2002).

Por estas razões, neste trabalho, o modelo publish/subscribe é utilizado como um estudo de caso para a aplicação da solução de Gerenciamento de Mobilidade implementada. De fato, o cenário motivador para a escolha e implementação da solução de Gerenciamento de Mobilidade apresentada neste trabalho, foi tornar capaz de suportar a mobilidade e desconexão de dispositivos um sistema publish/subscribe existente desenvolvido no LAC (Laboratory for Advanced Collaboration) chamado ECI (Event-Based Communication Interface). Outra razão pela qual um sistema publish/subscribe se adequa bem a solução implementada, é que, conforme é explicado em detalhes no Capítulo 3, o modelo publish/subscribe possui interações de curta duração e, portanto, pode se beneficiar da simplicidade, flexibilidade e facilidade de implantação de uma solução de Gerenciamento de Mobilidade na camada de aplicação.

Muitos sistemas publish/subscribe podem ser encontrados na literatura, e vários sistemas já atingiram maturidade comercial. Entretanto, há até pouco tempo, a grande maioria dos trabalhos sobre publish/subscribe não tratava das questões de mobilidade e de desconexão dos dispositivos (Huang e Garcia-Molina, 2004). Apenas recentemente, surgiram na literatura alguns trabalhos que trataram destas questões. A maioria dos trabalhos, por exemplo, (Cugola, Di Nitto et al., 2001) (Zeidler e Fiege, 2003) (Caporuscio, Carzaniga et al., 2003), (Fiege, Gartner et al., 2003), (Mühl, Ulbrich et al., 2004), considera a mobilidade de um dispositivo móvel, usado por um usuário registrado no sistema, como uma seqüência de operações de anexação e desanexação a diferentes servidores de eventos da infra-estrutura publish/subscribe, estabelecidos em diferentes localizações da rede. Portanto, estes trabalhos têm seu principal foco de pesquisa nos algoritmos para a sincronização de registros de interesses e o roteamento de

notificações entre diferentes servidores de eventos nos quais o dispositivo (este executando um produtor e/ou consumidor de eventos) se anexa/desanexa à medida que se move. Conseqüentemente, tais trabalhos abordam primordialmente a mobilidade de dispositivos na forma descrita acima, em arquiteturas distribuídas de sistemas publish/subscribe, enfatizando que a distribuição é necessária para garantir a escalabilidade de tais sistemas com relação ao número de clientes móveis.

Por outro lado, no presente trabalho, a mobilidade de um dispositivo em um sistema publish/subscribe é interpretada como a mudança (antecipada ou não antecipada) de seu endereço IP, considerando que este se mantém registrado a um único servidor de eventos. Mais detalhes sobre as principais diferenças nas abordagens são discutidos no Capítulo 7, sobre Trabalhos Relacionados. O suporte à mobilidade segundo a nossa abordagem não impede, no entanto, que o sistema adaptado nesta dissertação possa, em um trabalho futuro, ser incorporado em, ou estendido para, uma arquitetura distribuída de publish/subscribe, com vários servidores de eventos interconectados.

Além do suporte a mobilidade, o sistema publish/subscribe deve ser capaz de tratar eventuais desconexões temporárias de produtores e consumidores de eventos, já que em um cenário de rede móvel freqüentemente os dispositivos podem ficar desconectados da rede, seja por estarem em uma região sem cobertura da rede sem fio, ou porque foram desligados por falta de energia. Logo, no caso de uma desconexão do dispositivo de um consumidor registrado para receber notificações de eventos, por exemplo, o servidor de eventos deveria persistir a subscrição do mesmo, e permitir o enfileiramento das notificações para que elas possam ser entregues assim que o dispositivo volte a se conectar a algum servidor de eventos (Huang e Garcia-Molina, 2004). Além disso, o sistema publish/subscribe deve oferecer mecanismos para otimizar o funcionamento do sistema considerando as limitações de recursos dos dispositivos móveis e da rede (Sutton, Arkins et al., 2001), (Mühl, Ulbrich et al., 2004), como por exemplo, possibilitar a criação de filtros de notificação, para que apenas as mais recentes, as menores (em tamanho de dados) ou as relevantes sejam entregues quando a conexão sem fio apresenta baixa qualidade (largura de banda muito reduzida, etc).

Para poder ser utilizado em uma escala global, sistemas publish/subscribe precisam também prever que os consumidores ou produtores de eventos podem

estar conectados em redes protegidas por um firewall e com NAT (Network Address Translation), dificultando assim a gerencia de mobilidade por parte do sistema publish/subscribe, quando esta se baseia no conceito de endereço IP.

Estas e outras questões motivaram uma pesquisa sobre os principais requisitos gerais que um sistema publish/subscribe deve atender para ser efetivamente utilizável em redes móveis. O Capítulo 5 trata, portanto, da investigação e implementação destes requisitos, com o objetivo de implementar e ilustrar os principais conceitos e mecanismos estudados. Além disso, apresenta a adaptação do ECI, que é o sistema publish/subscribe baseado em conteúdo da MoCA (Mobile Collaboration Architecture) (Sacramento, Endler et al., 2004), para suportar a mobilidade e a desconexão de dispositivos, através do acoplamento da camada de software com a solução de Gerenciamento de Mobilidade desenvolvida, e da implementação, dentro deste sistema, dos mecanismos para o suporte à desconexão e também mecanismos de otimização para sua utilização em um cenário de mobilidade.

### **1.1. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é apresentar a implementação de uma API que oferece suporte à mobilidade e desconexão para aplicações em dispositivos móveis. Para isto, é apresentado o estudo de diferentes soluções para o Gerenciamento de Mobilidade em diversas camadas da pilha de protocolos da Internet, e a escolha e implementação da solução na camada de aplicação que utiliza o protocolo SIP. Além disso, foi feito um estudo de como é possível utilizar o SIP para permitir a travessia de Firewalls/NAT de forma mais geral e eficiente possível.

Como estudo de caso e para validar a solução implementada, é apresentada a adaptação de um sistema publish/subscribe existente para que o mesmo seja capaz de tratar a mobilidade de clientes (troca dinâmica de endereço IP), e a desconexão temporária dos mesmos. Além disso, o serviço deve ser capaz de funcionar mesmo quando um produtor ou consumidor de eventos estiver operando em uma sub-rede protegida por um firewall e com NAT. Para tal adaptação, foram identificados e discutidos alguns dos principais requisitos que sistemas

publish/subscribe devem satisfazer para suportar um cenário como este. O serviço publish/subscribe a ser estendido é denominado ECI (Event-Based Communication Interface). O ECI possui uma arquitetura centralizada e é baseado em conteúdo. Ele foi desenvolvido no LAC (Laboratory for Advanced Collaboration) como parte integrante do middleware MoCA, onde é usado como mecanismo de comunicação básico por vários serviços do middleware e por aplicações móveis. Como principais requisitos não-funcionais do novo serviço publish/subscribe, foi definido que este deveria causar baixa sobrecarga no sistema, ser tolerante a desconexões, utilizar protocolos ou tecnologias bem conhecidas ou padronizadas, e manter, na medida do possível, a interface programática do serviço ECI original.

## **1.2. Contribuições**

Este trabalho traz, como principais contribuições, uma análise de soluções de Gerenciamento de Mobilidade para decidir qual apresenta características mais favoráveis (e.g. facilidade de implantação, flexibilidade, etc) para sua utilização na Internet, uma API Java que implementa uma solução de Gerenciamento de Mobilidade na camada de aplicação com o protocolo SIP e o projeto e desenvolvimento de uma extensão de um sistema publish/subscribe existente para suportar a mobilidade e desconexão temporária de dispositivos, que é apresentado como um estudo de caso para a solução de Gerenciamento de Mobilidade implementada. Além disso, um estudo de como tornar o protocolo SIP capaz de lidar com a travessia de firewalls e NAT.

Como uma contribuição secundária, cabe mencionar o desenvolvimento de uma interface de programação, JAIN SIP Helper, que é uma abstração da API JAIN SIP. Esta API, que é explicada em detalhes no Capítulo 4, encapsula as principais funcionalidades para utilização do protocolo SIP e facilita o desenvolvimento de aplicações que necessitem utilizar este protocolo.