

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia Elétrica
Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica

Relatório de Estágio

Implantação e Integração de um Sistema de IP Móvel em Linux em um contexto de Telefonia IP

Danilo Freire de Souza Santos
danilo.santos@grad.dee.ufcg.edu.br

Orientador:
Angelo Perkusich

Campina Grande, Junho de 2005

Glossário

ATM - Asynchronous Transfer Mode
CN - Correspondent Node
DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol
DNS - Domain Name System
HTTP - Hypertext Transfer Protocol
IETF - Internet Engineering Task Force
IP - Internet Protocol
IPv4 - Internet Protocol versão 4
IPv6 - Internet Protocol versão 6
ISDN - Integrated Services Digital Network
ITU-T - International Telecommunication Union
M-VoIP - Mobile Voz over IP
MCU - Multipoint Control Unit
MIP - Mobile IP
MLR - Mobile Location Register
PBX - Private Branch eXchange
PDA - Personal Digital Assistants
PSTN - Public Switched Telephone Network
QoS - Quality of Service
RFC - Request For Comments
SIP - Session Initiation Protocol
SDP - Session Description Protocol
TCP - Transport Control Protocol
TMIP - Transparent Mobile IP
UDP - User Datagram Protocol
URI - Uniform Resource Identifier
VoIP - Voz over IP
Wi-Fi - Wireless Fidelity

Resumo

Este trabalho mostra todos os pontos relevantes sobre a execução das atividades de estágio executadas junto ao Laboratório de Sistemas Embutidos da Universidade Federal de Campina Grande. Estas atividades se concentram dentro do projeto de pesquisa e desenvolvimento M-VoIP. Mais especificamente, este trabalho se dedica aos aspectos que se referem à implantação de um sistema de IP Móvel e integração com os *gateways* disponíveis no contexto do projeto M-VoIP.

Além destes objetivos específicos, pesquisas e metodologias de desenvolvimento de projetos em grupo foram utilizadas. Todas estas tarefas e métodos são descritos neste trabalho que se segue.

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Fundamentos Teóricos	3
2.1	Voz sobre IP - VoIP	3
2.1.1	O H.323	4
2.1.2	O SIP	6
2.2	O IP Móvel	9
2.2.1	Funcionamento do IP Móvel	10
2.2.2	O IPv6	11
3	Materiais e Métodos	12
4	Resultados e Discussão	19
5	Conclusão e Trabalhos Futuros	22

Lista de Figuras

1	Arquitetura do projeto M-VoIP	2
2	Elementos básicos do H.323	5
3	Diagrama do funcionamento básico do H.323	6
4	Diagrama de funcionamento básico do SIP	8

1 Introdução

Transmissão de voz em tempo real com qualidade telefônica através do protocolo Internet (IP), não é mais um desafio desde alguns anos atrás. Em geral, transmissão de voz utilizando o protocolo Internet (IP), ou VoIP, significa a transmissão de sinais de voz em tempo real e informações de controle através de uma rede baseada em IP. O termo telefonia IP é comumente usado para especificar o suporte a um grupo de serviços avançados presentes na PSTN (*Public Switched Telephone Network*) usando telefones IP.

Outro aspecto relevante a se considerar é a necessidade de se incorporar mobilidade. Deste modo, a crescente disponibilização de dispositivos com suporte a tecnologias sem fio, tais como Bluetooth e Wi-Fi, impõe um novo tipo de necessidade: a necessidade de acesso à informação em qualquer lugar e a qualquer momento. Obviamente esta necessidade proporciona o surgimento de novas modalidades de serviços e aplicações, fazendo que os serviços e aplicações existentes se adaptem a essa nova realidade.

Neste contexto foi proposto um projeto de pesquisa e desenvolvimento no qual fosse possível integrar a necessidade de mobilidade do mundo atual, e este novo tipo de aplicação, o VoIP. Desta junção foi criado o projeto M-VoIP, ou VoIP Móvel.

O M-VoIP tem como objetivo disponibilizar uma arquitetura de rede sem fio com cobertura para várias tecnologias, mais especificamente o Bluetooth e o Wi-Fi, que dê suporte as aplicações de VoIP. Esta arquitetura de rede estaria conectada a um PBX VoIP (*Private Branch eXchange*) que faria o controle dos clientes com *softphones*, e conectaria o sistema de telefonia IP à PSTN através de uma placa de telefonia, como ilustrado na Figura 1.

Para concretizar este objetivo geral foram determinados vários objetivos específicos. Dentre eles estão a configuração do PBX VoIP, a implantação de *gateways* Bluetooth e Wi-Fi, o desenvolvimento de uma aplicação VoIP, e a im-

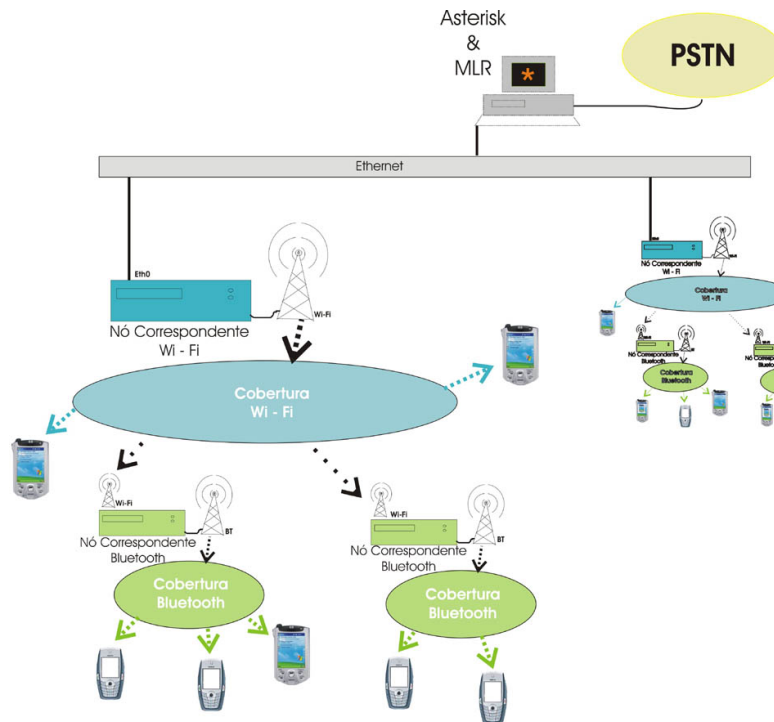


Figura 1: Arquitetura do projeto M-VoIP

plantação de um sistema de IP Móvel para disponibilizar suporte a mobilidade.

Este trabalho está localizado mais especificamente no último objetivo citado: a implantação de um sistema de IP Móvel (MIP¹). Portanto, o objetivo central das atividades desenvolvidas é a implantação de um MIP, porém antes de realizar este objetivo foi necessário adquirir conhecimentos relacionados a VoIP. Além disso as atividades realizadas junto ao projeto M-VoIP foram em grupo, com isso, existiu uma cooperação entre os demais pesquisadores, obtendo-se assim um conhecimento nas demais áreas de conhecimento relacionadas ao projeto.

Estas áreas de conhecimento se concentram em dois tópicos específicos: o entendimento do VoIP, e o conhecimento sobre redes IP, mais especificamente redes IP móveis. Estes tópicos são abordados mais detalhadamente na seção seguinte.

¹abreviatura para *Mobile IP*

2 Fundamentos Teóricos

2.1 Voz sobre IP - VoIP

Nesta seção apresentamos os conhecimentos técnicos relacionados aos protocolos e componentes usados na telefonia IP. São apresentadas informações sobre os componentes relevantes, e sobre os principais protocolos de VoIP, que são o H.323 e o SIP [2] [4].

A literatura existente sobre telefonia IP ou VoIP (neste trabalho considera-se os dois como sinônimos) tem em comum, basicamente, os seguintes componentes essenciais em uma infra-estrutura de telefonia IP:

Terminal: ponto terminal de comunicação que inicia ou termina as chamadas e seus fluxos de mídia. Um terminal de telefonia IP tem no mínimo um endereço IP. Se um servidor de telefonia IP é usado, o terminal registra seu endereço neste servidor.

Servidor: uma chamada de telefonia IP requer no mínimo dois terminais, e o conhecimento do endereço IP e o número da porta do terminal ao qual se quer ligar. Para não forçar o usuário a lembrar do endereço IP de outro usuário, se faz uso de servidores que registram os endereços IP dos seus usuários e se necessário implementam um sistema de numeração semelhante ao usado em telefonia convencional. Portanto, toda vez que um usuário quer realizar uma chamada, o servidor resolve um endereço recebido (número ou até mesmo um nome) para um endereço IP.

Gateways: são os pontos terminais que traduzem chamadas entre pontos que estão ambientes diferentes. Ou seja, o *gateway* traduz um protocolo de sinalização em outro, ou traduz endereços entre redes diferentes, ou faz mudanças de *codecs*. Um *gateway* comum em telefonia IP traduz VoIP para a PSTN.

Uma comunicação comum entre dois terminais VoIP pode ser descrita da seguinte maneira. Inicialmente o terminal A deseja estabelecer uma conexão para o terminal B. O terminal A tem um número que representa o terminal B, e tem o endereço IP do servidor (estático). Então o terminal A encaminha o número do terminal B ao servidor, e o servidor ou retorna o endereço IP de B para que assim o terminal A inicie uma sessão entre os dois, ou o servidor utiliza algum método para iniciar uma sessão entre os dois terminais.

Basicamente existem dois protocolos para se criar uma sessão entre dois ou mais terminais: o H.323 e o SIP [2] [4]. Eles são descritos a seguir.

2.1.1 O H.323

A pilha de protocolo H.323 é uma especificação criada pela ITU-T (*International Telecommunications Union*) para suporte a comunicações multimídia em redes baseadas em IP. Este padrão multimídia define uma chamada como uma comunicação ponto-a-ponto entre dois ou mais pontos H.323, que começa com um procedimento de configuração de chamada, e termina com um procedimento de finalização.

O H.323 tem como característica importante o suporte para a interconexão entre redes baseadas em IP e redes de circuitos comutados (PSTN). Este protocolo define um número de novos componentes que são ilustrados na figura 2.

Alguns componentes já foram discutidos anteriormente, porém outros são novos e descritos a seguir:

Gatekeeper: é o principal componente de gerenciamento num ambiente H.323.

Implementa os mecanismos para controle de acesso, resolução de endereços e gerenciamento de rede H.323, e provê o elo central para qualquer tipo de implementação de política de acesso. Além do mais, o Gatekeeper atua como uma ponte para conferências ou oferece serviços suplementares.

MCU - Multipoint Control Unit: implementa a interconexão lógica da

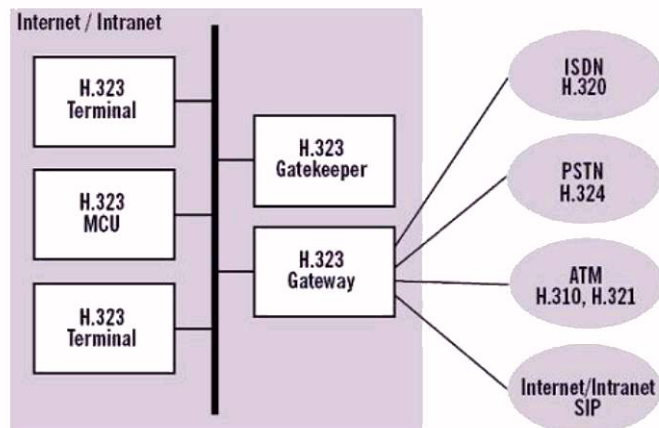


Figura 2: Elementos básicos do H.323

sinalização de chamadas e o controle dos canais de conferência entre duas ou mais entidades H.323. O MCU coordena a troca de mídias entre as entidades envolvidas numa conferência. Também funciona como um processador multiponto, ou seja, pode combinar vários fluxos de dados de vários pontos e retransmiti-los de volta a estes pontos.

Exemplo de funcionamento do H.323

Na figura 3 ilustra-se um exemplo de chamada entre duas áreas diferentes. O terminal A contata o seu *gatekeeper* para pedir permissão para fazer uma chamada para um terminal em uma área B (1). O *gatekeeper* da área A confirma a requisição e informa ao terminal A o endereço do *gatekeeper* da área B (2). O terminal que iniciou a conexão estabelece um canal de sinalização com o *gatekeeper* da área B (3), que determina a localização do terminal que está sendo chamado e envia a requisição para o terminal B (4).

O terminal chamado confirma com seu *gatekeeper* que está pronto para receber a chamada (5,6), alerta o usuário que uma chamada está sendo recebida, e depois que o usuário atende a chamada, envia uma indicação de volta ao terminal que está iniciando a chamada indicando que a configuração de conexão foi feita e está pronta (7,8). Quando a configuração está completa, ambas as partes começam a

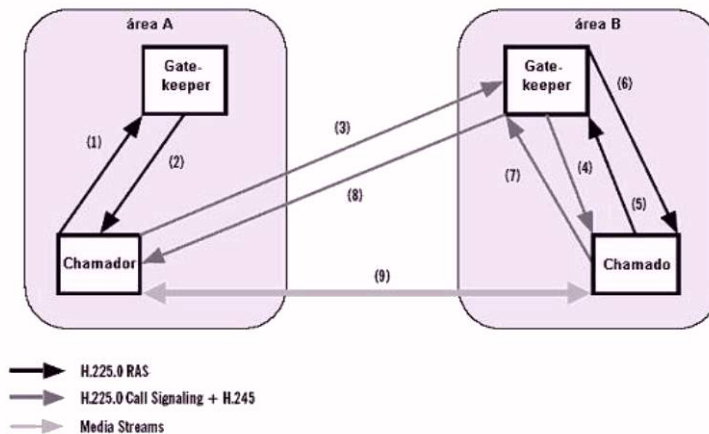


Figura 3: Diagrama do funcionamento básico do H.323

enviar fluxos de mídia diretamente um para o outro.

2.1.2 O SIP

SIP significa *Session Initiation Protocol* [2]. É um protocolo de controle na camada de aplicação que foi definido pelo IETF *Internet Engineering Task Force*. O protocolo foi concebido para promover uma fácil implementação, boa escalabilidade, e flexibilidade.

O protocolo SIP, definido através da recomendação RFC 2543 do IETF, estabelece um padrão de sinalização e controle para chamadas entre terminais que não utilizam o padrão H.323, e possui os seus próprios mecanismos de segurança e confiabilidade. Estabelece recomendações para serviços adicionais tais como transferência e redirecionamento de chamadas, identificação de chamadas (entre o chamado e chamador), autenticação de chamadas, conferência, entre outros. Sua utilização é similar ao conjunto H.323 descrito, embora utilize como suporte para as suas mensagens o protocolo UDP da rede IP [2].

O SIP é baseado no protocolo HTTP. De fato, o HTTP pode ser classificado como um protocolo de sinalização também, pois os usuários utilizam o protocolo para informar ao servidor HTTP quais os documentos que estão interessados. O

SIP é usado para enviar a descrição dos parâmetros de sessão entre os terminais. A descrição é codificada em um documento usando SDP (*Session Description Protocol*). Ambos os protocolos (HTTP e SIP) herdaram a codificação de cabeçalho do RFC822.

As unidades SIP são identificadas pelo SIP URI (*Uniform Resource Identifier*) que tem a forma de sip:username@domain.

Os elementos básicos do SIP são o user-agent, proxies, registrars e redirect servers.

User-agent: são os pontos finais que usam o SIP para encontrar uns aos outros e negociar as características de sessão. Geralmente são referenciados como *User Agent Server* (UAS) e *User Agent Client* (UAC). São unidades lógicas contidas nos user-agents. O UAC é responsável por enviar requisições e o UAS por recebê-las.

Proxies: o SIP permite a criação de uma infra-estrutura de hosts de rede chamados de servidores *proxies*. Os *User agents* podem enviar mensagens para o servidor *Proxy*. Estes servidores fazem o roteamento dos convites de sessão de acordo com a localização do convidado, autenticação, e várias outras funções importantes.

Registrar: é uma entidade especial do SIP que recebe registros de usuários, extrai informações sobre sua localização e guarda esta informação em um banco de dados. Este banco de dados é usado pelos *proxies* para mapear um endereço do tipo sip:bob@b.com para algo do tipo sip:bob@1.2.3.4:5060, semelhantemente a um DNS (*Domain Name Server*).

Redirect Server: a entidade que recebe uma requisição e retorna uma resposta contendo uma lista com a localização atual de um usuário em particular. Ele pesquisa no banco de dados criado pelo registrar e retorna a informação para quem a requisitou.

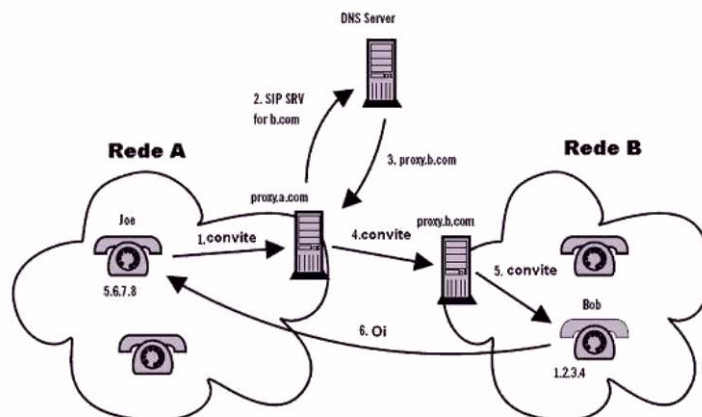


Figura 4: Diagrama de uncionamento básico do SIP

O *Registrar* e o *Redirect Server* geralmente são co-localizados com o servidor *Proxy*. Um exemplo de funcionamento básico do protocolo SIP é mostrado a seguir. Numa configuração típica, cada rede tem seu próprio servidor *Proxy* SIP, que é usado por todos os usuários da rede. Supondo que existem duas redes, A e B, na Figura 4 ilustra-se como um convite de sessão originado na rede A chega a um usuário da rede B.

O usuário Joe usa o endereço *sip:bob@b.com* para chamar o usuário Bob. O *user-agent* de Joe não sabe como rotear o convite, mas ele é configurado para enviar o tráfego externo para o servidor *Proxy* SIP *proxy.a.com*. O servidor *Proxy* conclui que o usuário *sip:bob@b.com* está em uma rede diferente, então ele procura pelo *Proxy* SIP da rede B e envia o convite para lá. O servidor *Proxy* SIP da rede B pode ser tanto pré-configurado no *proxy.a.com* ou se não o *proxy* utiliza um servidor DNS para achar o servidor de *proxy* B. O convite chega em *proxy.b.com*. Daí o *proxy* B sabe a localização de Bob e envia o convite ao seu *user-agent*. Ao receber o convite, os dois *user-agent* estabelecem a sessão e começam a se comunicar diretamente.

2.2 O IP Móvel

Os protocolos usualmente utilizados, incluindo o TCP/IP (IPv4), foram concebidos assumindo que computadores estão sempre conectados a rede por um ponto físico estático. Quando um computador móvel não está fisicamente conectado com sua sub-rede de origem, o protocolo IPv4 é incapaz de rotear os pacotes corretamente. Então pacotes destinados para um nó móvel não serão entregues corretamente se ele estiver conectado a uma sub-rede externa. Portanto, para manter a conectividade com a Internet, seria necessário que outras entidades fossem introduzidas junto ao nó móvel.

Então, para resolver este problema foi especificado um novo protocolo, o MIP (*Mobile IP*) [5], que modifica o existente protocolo IPv4 existente para que então a mobilidade possa ocorrer transparentemente para as camadas mais altas.

Antes de começar a explicar como o IP Móvel funciona, é interessante conhecer a terminologia usada neste trabalho. Estes termos serão usados extensivamente no decorrer do texto na descrição da operação do IP Móvel e na descrição dos processos de troca de mensagens entre as entidades e entre os nós móveis [7] [6].

Nó Móvel: um nó executando a pilha de protocolo do IP Móvel que se movimenta entre diferentes sub-redes. Este nó tem um endereço IP (permanente) que define para onde todos os seus pacotes devem ser enviados. Quando outros nós enviam pacotes ao nó móvel, eles apenas especificam seu endereço IP de origem no pacote, não importando onde o nó móvel esteja fisicamente localizado.

Agente de Origem: um roteador na rede de origem que intercepta os pacotes destinados para o nó móvel quando este está conectado a uma rede externa. O agente de origem encaminha esses pacotes ao nó móvel.

Rede Externa: uma rede, diferente da rede de origem do nó móvel, a qual o nó móvel estar conectado.

Agente Externo: um roteador na rede externa configurado para IP Móvel.

Ele assiste o nó móvel recebendo *datagramas* enviados ao *endereço de tratamento*.

Endereço de Tratamento: o endereço que o nó móvel usa para comunicação quando estar fora de sua rede de origem. Este endereço pode tanto ser um endereço de tratamento de agente externo, quanto um endereço de tratamento arranjado (*collocated*), onde na interface de rede do nó móvel é temporariamente atribuído um endereço IP da rede externa.

Nó Correspondente: qualquer ponto que está se comunicando com o nó móvel. Este nó pode estar localizado na rede local, na rede externa, ou qualquer outro lugar que seja capaz de rotear pacotes para a rede de origem do nó móvel.

Tunelamento: o processo de encapsular um pacote IP dentro de outro pacote IP com o propósito de roteá-lo para outra localização diferente da especificada no campo de destino original. Especificamente, quando um pacote é recebido pelo agente de origem, ele encapsula o pacote original dentro de outro pacote, colocando o endereço de tratamento como novo destino antes de encaminhá-lo para o roteador apropriado. O caminho seguido pelo novo pacote é chamado de túnel.

2.2.1 Funcionamento do IP Móvel

No IP Móvel, o endereço IP de origem também é estático e é usado, por exemplo, para identificar conexões TCP [3]. O endereço de tratamento muda a cada novo ponto de conexão e pode ser visto como endereço topológico significativo do nó móvel. Ele indica o número de rede e, portanto identifica o ponto de conexão do nó móvel em relação à topologia da rede. O endereço de origem faz parecer que o nó móvel está continuamente capaz de receber dados em sua rede de origem,

onde o IP Móvel requer a existência de um agente de origem. Quando o nó móvel não estiver conectado a sua rede de origem, o agente de origem pega todos os pacotes destinados para o nó móvel e os envia para o ponto de conexão atual do nó móvel.

Quando o nó móvel se movimenta, ele registra seu novo endereço de tratamento com seu agente de origem. O agente de origem entrega os pacotes da rede de origem para o endereço de tratamento. Para fazer a entrega, necessita-se que o pacote seja modificado para que o endereço de tratamento apareça como endereço IP destino. Esta modificação pode ser entendida como uma transformação de pacote ou, mais especificamente, um redirecionamento. Quando o pacote chega ao endereço de tratamento, a transformação reversa é aplicada para que o pacote novamente tenha o endereço de origem do nó móvel como endereço IP de destino. Quando o pacote chega ao nó móvel endereçado ao endereço de origem, ele será corretamente processado pelo TCP ou qualquer outro protocolo de nível superior.

2.2.2 O IPv6

A nova versão do protocolo IP, o IP versão 6, já incorpora o suporte a mobilidade como uma característica própria [8]. Ele incorpora, dentre outras características importantes, um melhoramento no roteamento de pacotes por causa do uso de campos de roteamento no seu cabeçalho, pois o IPv6 tem um cabeçalho bem maior que o atual IPv4. Com esses campos de roteamento, um nó correspondente pode se comunicar diretamente com o nó móvel, assim evitando a triangulação com o agente de origem.

Outra vantagem obtida com o IPv6 é a não necessidade de um agente externo para desencapsular os pacotes vindos ao nó móvel. Agora o nó móvel desencapsula seus pacotes e tem um endereço de tratamento arranjado.

Apesar das vantagens do IPv6, os estudos deste trabalho se dedicaram ao IPv4 Móvel por motivos que serão discutidos nas seções seguintes.

3 Materiais e Métodos

Como foi dito anteriormente, o projeto M-VoIP foi desenvolvido em grupo. O grupo foi formado inicialmente por cinco pessoas, e atualmente mais cinco outras foram integradas para trabalhos futuros que serão discutidos no final deste trabalho.

Por ser um projeto de pesquisa e desenvolvimento, e como a maioria dos integrantes do grupo tinha pouca informação sobre os campos de conhecimento necessários para o desenvolvimento do projeto, o grupo desenvolveu uma metodologia de trabalho própria.

Esta metodologia consistia da seguinte rotina: reuniões semanais nas quais se decidiam os próximos passos a serem seguidos, e principalmente, os próximos trabalhos a serem executados. Após serem definidos os próximos trabalhos, estes eram divididos entre os integrantes do grupo, e cada um se comprometia em a fazer uma apresentação na semana posterior dos resultados obtidos.

Inicialmente esta metodologia serviu para embasar todos os integrantes sobre todos os conhecimentos necessários para o projeto. Com este embasamento foram definidas quais as características e componentes de projeto seriam necessários e utilizados, que foram:

- O PBX VoIP seria o Asterisk;
- O protocolo VoIP utilizado seria o SIP;
- O sistema de IP Móvel seria o TMIP;
- Os *gateways* seriam Bluetooth e Wi-Fi;
- Seriam necessários dispositivos e computadores com suporte Wi-Fi e Bluetooth.

O sistema escolhido de IP Móvel deve ser IPv4, pois é a versão do IP que

o Asterisk suporta. A partir destas características foram definidos objetivos, e tarefas específicas que foram divididas entre os integrantes. Estas tarefas foram:

- Configuração do PBX VoIP Asterisk;
- Desenvolvimento de um *User Agent* SIP para Symbian;
- Desenvolvimento de um *User Agent* SIP para Linux;
- Implantação dos *Gateways* Bluetooth e Wi-Fi;
- Implantação do Sistema de IP Móvel TMIP.

Como suporte ao desenvolvimento, os seguintes equipamentos foram adquiridos:

- Dois computadores AMD Sempron +2300, com placas Wi-Fi;
- Dois pontos de acesso Wi-Fi;
- Um PDA iPaq 3900 com suporte a Bluetooth;
- Um PDA iPaq 5300 com suporte a Bluetooth e Wi-Fi;
- Um celular Nokia 6600 com suporte a Bluetooth.

Este trabalho de estágio tem como objetivo específico implantar o sistema de IP Móvel TMIP, e integrar este sistema aos *gateways* desenvolvidos e assim obter a estrutura de rede descrita anteriormente.

Inicialmente, foi obtido o código fonte do sistema TMIP através de seu endereço web na Internet [1]. Este sistema tem a vantagem de ser de código aberto, e ainda mais funciona no sistema operacional GNU/Linux.

Após a obtenção do código, era necessária a compilação do código. Nesta parte surgiu o primeiro problema da implantação, o código continha um erro e

não foi possível compilá-lo. Para resolver este problema, foi necessário identificar onde estava o erro, examiná-lo, e corrigi-lo.

O problema foi identificado no arquivo `dhcpd.h`, no qual o GCC reclamava de que valores *default* eram apenas permitidos em funções, e no arquivo estava sendo usado com o *typedef*, como mostrado a seguir:

```
// Callback method for DHCP arrival message
typedef bool (*dhcp_arrive_hook)(struct mobile_host *ms, bool
must_have_ip = true, bool set_ignore = true);
```

Então para corrigir este problema, retiramos os valores *default*, resultando nesta nova linha de código:

```
// Callback method for DHCP arrival message
typedef bool (*dhcp_arrive_hook)(struct mobile_host *ms, bool
must_have_ip, bool set_ignore);
```

Porém, esta mudança resultou em outro erro, agora no arquivo `dhcpd.cpp`, no qual a seguinte condição aparentemente utilizava os valores *default* definidos no `dhcpd.h`:

```
Line 299 if (dhcp_arrive(mhost, false)){...}
```

Onde:

```
dhcp_arrive_hook DHCPD::dhcp_arrive;
```

Portanto, para adaptar o *typedef* `dhcp_arrive` ao `dhcp_arrive_hook` alterado, analisamos a condição e através do seguinte comentário no código:

```
// Attempt the callback routine, this will try to allocate out the
IP they have
// requested, or if that fails, just find the next available one.
If we can't
// assign them that, just don't reply
if (dhcp_arrive(mhost, false)){.....}
```

Observamos que a condição deveria ser alterada do seguinte modo:

```
if (dhcp_arrive(mhost, false, false)){.....}
```

Para que assim o DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) não ignore o host que está migrando para aquele ponto de acesso. Pois neste caso o *host* não tem um IP fixo.

Após este problema ter sido resolvido, foi possível compilar o sistema da seguinte maneira:

Dentro dos diretórios *tmipd*, *mlrd*, e *mlrd_query*, nesta seqüência, foi executado o comando *make*. Com isso os arquivos ".o" foram criados.

Após a compilação do código iniciou-se a configuração dos arquivos para a integração com os *gateways* do projeto. Basicamente dois *gateways* estavam disponíveis, um que fazia a transição do Wi-Fi para a Ethernet, e outro que fazia do Bluetooth para o Wi-Fi.

O TMIP é basicamente composto de duas entidades, o MLR (*Mobile Local Register*) e o CN (*Correspondent Node*), formando uma arquitetura diferente da proposta pelo IETF. A configuração e funcionamento são expostos a seguir.

No local referente ao MLR (diretório */mlrd*), o arquivo de configuração *mlrd.rc* foi alterado nos seguintes campos:

```
network_name M-VoIP
port 5554
foreground false
log_file /var/log/mlrd.log
status_file /var/log/mlrd.status
log true
grant 150.165.61.143
```

Para o sistema TMIP é recomendado o uso de uma cópia de carbono, ou seja, uma mesma aplicação sendo executada em paralelo para fins de depuração e configuração. Portanto usamos o MLR anterior como cópia de carbono, e configuramos outro MLR para funcionar como MLR primário, como mostrado a seguir:

```
network_name M-VoIP
port 6554
foreground false
log_file /var/log/mlrd.log
status_file /var/log/mlrd.status
log true
cc_mlr 150.165.61.143:5554
```

Após a configuração destas entidades, o MLR do sistema está pronto e pode ser iniciado, executando a seguinte linha de código para os dois MLR:

```
[root@sip mlrd]$ ./mlrd -f mlrd.rc
```

O sistema está funcionando corretamente se a seguinte mensagem aparecer ao final da execução:

```
+ MLR up and listening...
```

Com o MLR pronto e executando, configura-se os CN's com as interfaces Bluetooth e Wi-Fi. As interfaces de rede têm a seguinte nomenclatura:

- Para o Bluetooth: pan0;
- Para o Wi-Fi: wlan0;
- Para a Ethernet: eth0.

Para a célula com interface Wi-Fi, um ponto de acesso Wi-Fi foi conectado à interface Ethernet de um dos computadores. Com isso a interface móvel foi eth0, e a interface CN para o resto da rede foi wlan0 que se comunicava com outro ponto de acesso. O arquivo de configuração `tmipd.rc`, ficou com os seguintes campos alterados:

```
mlr 150.165.61.143  
  
cn_name CN.Wlan  
CN tunnel_prefix tmip0  
  
cn_if wlan0  
mobile_if eth0  
  
network_name M-VoIP  
addr_pool eth0 * *  
enable_dhcp true  
  
dns_server 150.165.61.3
```

Para a célula Bluetooth a interface móvel foi pan0, e a interface CN para o resto da rede foi wlan0, que se comunicava com o ponto de acesso Wi-Fi que era outro CN. O arquivo de configuração `tmipd.rc`, ficou com o seguintes campos alterados:

```
mlr 150.165.61.143
cn_name CN_BT
CN tunnel_prefix tmip0
cn_if wlan0
mobile_if pan0
network_name M-VoIP
addr_pool pan0 * *
enable_dhcp true
dns_server 150.165.61.3
```

Portanto, com os dois CN iniciais configuradas, pode-se executá-los da seguinte maneira:

```
[root@sip tmipd]$. /tmipd ?f tmipd.rc
```

Ao final do carregamento dos CN's, a seguinte linha aparece indicando que todo o processo de alocação de endereços e conectividade com a MLR e outras CN's ocorreu bem:

```
+ Correspondent node [150.165.61.142] (CN_BT) is now up and
running...
```

Com o sistema de IP Móvel implantado e integrado com os *gateways* do projeto M-VoIP, uma primeira versão do sistema está pronta para os primeiros testes.

4 Resultados e Discussão

Com o sistema implantado e com o funcionamento básico garantido, pode-se testar o sistema TMIP. Os testes foram feitos da seguinte maneira:

- Primeiro, fez-se o teste do servidor de DHCP do TMIP, registrando vários dispositivos na rede;
- Depois, fez-se o teste de *Roaming* migrando um dispositivo de uma rede para outra.

Para o primeiro teste, utilizamos a CN com a interface Bluetooth, e um PDA iPaq com interface Bluetooth e Windows CE. Ao se ligar à interface do Bluetooth do PDA, o CN encontra o dispositivo, que foi registrado na rede da seguinte maneira:

```
-> Mobile station detected in my cell [00:02:c7:19:b3:d0] (via DHCP
activity - Discover)
  + Establishing host's address allocation
    + Success -> From local address pool
    + Notifying MLR of host's new status
    + Using 192.168.11.9 on 192.168.11.8/255.255.255.252
gw:192.168.11.10
  + Committing changes to MLR: Done.
-> Mobile host [00:02:c7:19:b3:d0] has arrived in this cell
```

E observando as configurações no PDA, observa-se que o endereço IP foi alterado, assim como o endereço de *gateway*, endereço de rede e o endereço do servidor DNS. O mesmo resultado foi obtido utilizando a interface Wi-Fi do PDA.

Em seguida foram executados os testes de *Roaming*, que foram os mais complicados. Em relação ao Bluetooth o problema foi que apenas tinha-se a dis-

posição um dispositivo USB Bluetooth, e para se fazer os testes de *Roaming* seria necessário desconectar o dispositivo de um CN e conectar em outro CN.

Para contornar esta situação fizemos apenas os testes de Roaming com a interface Wi-Fi, pois dois pontos de acesso Wi-Fi estavam disponíveis. Além do mais, o PDA com o Windows CE disponibilizava suporte a *handoffs*. Com isso, o PDA mudava de ponto de conexão automaticamente. Fez-se o teste de *Roaming* da seguinte maneira:

- Primeiro registrou-se o PDA em um CN;
- Em seguida, o deslocou para a área de outro CN.

O registro já foi mostrado anteriormente. Então, ao se deslocar o PDA para a área de cobertura do outro CN, este o detectou da seguinte maneira:

```
-> Mobile station detected in my cell [00:02:c7:19:b3:d0] (via IP or
ARP activity)
  + Establishing host's address allocation
    + Success -> Restored from MLR
    + Notifying MLR of host's new status
    + Attempting mobile host handover [migrated from 192.168.11.1]
parent 192.168.11.1
  + Contacting transaction participants
  + Requesting tunnel between parent CN and local CN
    + Agreed to use tunnel type [MLRP_TUN_4IN4]
  + All OK, going for commit
  + Using 192.168.11.9 on 192.168.11.8/255.255.255.252
gw:192.168.11.10
  + Committing changes to MLR: Done.
-> Mobile host [00:02:c7:19:b3:d0] has arrived in this cell
```

Com isso os testes essenciais do TMIP foram realizados, e observa-se que apesar de utilizar uma arquitetura diferente dos outros sistemas de IP Móvel existentes, o TMIP utiliza os mesmos princípios e tem um bom funcionamento.

Outros testes ainda serão realizados, principalmente em relação aos *handoffs* de aplicações de VoIP.

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

Com a realização deste trabalho, foi possível melhorar os conhecimentos em redes de computadores, e principalmente no contexto de redes sem fio. O trabalho de pesquisa e desenvolvimento dentro do contexto do projeto M-VoIP foi de extrema importância também agregar conhecimentos para execução de atividades de engenharia em grupo.

Em relação aos conhecimentos técnicos obtidos, diversos foram os campos de conhecimentos explorados neste trabalho. Iniciou-se com a compilação e a correção de erros na linguagem de programação C++ em Linux OS. Em seguida com os conhecimentos de configuração e gerenciamento de rede em Linux, que foram necessários para a configuração do TMIP. Para isso foi necessário adquirir conhecimentos para manusear os dispositivos móveis disponíveis.

Além disso, o estudo de VoIP foi algo muito importante neste trabalho. O entendimento dos protocolos e do funcionamento de um sistema de telefonia IP obtidos nos trabalhos iniciais foi de extrema relevância. Além do mais, os conhecimentos em Linux obtidos com a configuração de rede e com a instalação de um sistema operacional Linux para um dos *handhelds*, são únicos.

Em relação ao trabalho executado, o sistema TMIP se mostrou bastante adaptável, e se encaixou perfeitamente no contexto do projeto. O sistema é de fácil gerenciamento e bastante flexível, pois não necessita nenhum *software* de configuração no lado do cliente.

Com isso, todas as atividades propostas para o estágio foram concluídas com sucesso. O sistema foi implantado e integrado com os *gateways* disponíveis, e apenas alguns pontos pendentes do projeto M-VoIP ainda precisam ser melhor resolvidos, e serão mostrados a seguir.

Apesar do trabalho executado ter satisfeito ao cronograma proposto, algumas tarefas ainda podem ser definidas como propostas de trabalhos futuros. Dentre elas se destacam:

- Implementação de um sistema de *Handoff* para o sistema operacional Linux;
- Adaptação de alguns parâmetros do TMIP para o M-VoIP;
- Teste de campo com todo o sistema M-VoIP.

Dentre estas tarefas propostas, a de maior destaque é a última. Um grande teste de campo com todos os componentes do M-VoIP será realizado em breve. Neste teste serão observados os parâmetros de QoS (Qualidade de Serviço) do sistema de telefonia IP, tais como a qualidade do sinal de voz, atrasos, e funcionamento do sistema durante um *handoff*.

Referências

- [1] Transparent Mobile IP. http://www.slyware.com/projects_tmip.shtml.
- [2] Margit Brandl, Karl Franzens, Dimitris Daskopoulos, Erik Dobbelssteijn, Rosario Giuseppe Garroppo, Jan Janak, Jiri Kuthan, Saverio Niccolini, Jörg Ott, Stefan Prella, Sven Ubik, and Egon Verharen. *IP Telephony Cookbook*. Terena Report, Março 2004.
- [3] Andrew F. Myles Charles E. Perkins. Mobile IP. 1996.
- [4] Bhumip Khasnabish. *Implementing Voice over IP*. John Wiley & Sons INC, 2003.
- [5] Charles E. Perkins. IP mobility support, IETF RFC 2002. Outubro 1996. <http://www.ietf.org>.
- [6] Charles E. Perkins. Mobile IP. *IEEE Communication Magazine*, Maio 1997.
- [7] Charles E. Perkins. Mobile networking through mobile IP. *IEEE Internet Computing*, 1998.
- [8] J. Redi and P. Bahl. Mobile IP: A solution for transparent, seamless mobile computer communications. *Fuji-Keizai's Report on Upcoming Trends in Mobile Computing and Communications*, 1998.