

TELEFONIA IP PARA AMBIENTES MÓVEIS USÁVEIS

Sérgio de Oliveira, Claudionor J. N. Coelho Júnior, Antonio A.F. Loureiro

Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Ciência da Computação
{sergiool, coelho, loureiro}@dcc.ufmg.br

Resumo

Neste trabalho é proposto e implementado um sistema de telefonia para redes móveis sem fio utilizando como protocolo de rede o protocolo IP (*Internet Protocol*) em um equipamento compacto e usável. São analisadas diversas tecnologias envolvidas: a tecnologia empregada para a rede móvel; a camada IP utilizada para garantir mobilidade, incluindo já recursos para este fim; os protocolos de sinalização para o sistema de telefonia sobre o protocolo Internet; métodos de transporte de voz, como métodos de compressão, recuperação de erros e qualidade de serviço.

Foram utilizadas técnicas de desenvolvimento de sistemas integrados de hardware e software para garantir a utilização de um sistema embutido usável e que possa integrar vários outros serviços, podendo facilmente ser modificado para permitir conferências de vídeo, agenda e calendário, além de outras facilidades.

Abstract

This work presents the design and implementation of a telephony system for a wireless mobile network using IP (Internet Protocol) as the network protocol in a compact wearable equipment.

The underlying technologies are analyzed: the technology for wireless mobile environment; the IP layer for mobile networks; the signaling protocols for telephony over IP; voice transport techniques, such as compression methods, error recovering and quality of service.

Hardware and software co-design techniques are used according to requirements of a wearable system. The flexible architecture allows the integration of other services, like calendar and phonebook.

1 Introdução

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo construir um protótipo de telefonia com as mesmas funcionalidades de um telefone celular, baseado em duas tecnologias em franca ascensão — Telefonia IP e Computação Móvel, utilizando técnicas de sistemas embutidos. Este protótipo, porém, não

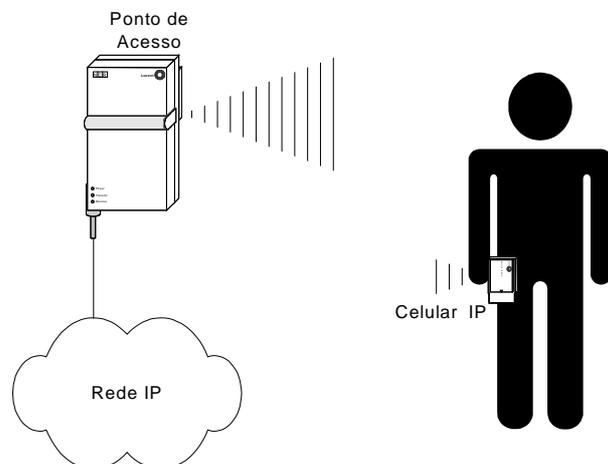


Figura 1 – Celular IP e um ponto de acesso

utiliza a sólida e bem conhecida tecnologia de telefonia celular. Ao contrário, este aparelho celular é construído sobre o protocolo IP (*Internet Protocol*), utilizando a técnica que ficou conhecida como *Wavelan*, para garantir mobilidade ao sistema.

Soluções baseadas em Telefonia IP têm sido propostas em substituição aos modelos de telefonia convencional, com inúmeras vantagens. Esse trabalho propõe apresentar uma possibilidade de uso desta tecnologia também em substituição ao telefone celular, aproveitando as vantagens da Telefonia IP, especialmente sobre esse ambiente de telefonia onde as tarifas são normalmente mais altas.

Diversas soluções foram agregadas para permitir a criação do sistema como será descrito. O trabalho se deu sobre a adaptação de cada solução visando o produto final. Este produto foi chamado de **Celular IP**, dada sua semelhança ao sistema telefônico celular.

Foi escolhida como base do protótipo um computador usável móvel com recursos de rede sem fio e dimensões reduzidas. Os recursos da rede sem fio são acessados através de um adaptador *Wavelan*, e todo o processamento disponível e recursos de armazenamento de massa são limitados pelas dimensões do sistema.

Neste trabalho também é realizado um estudo das tecnologias utilizadas para a Telefonia sobre a Internet. Os principais aspectos da comunicação de voz são tratados, especialmente codificação e compressão bem como formação dos pacotes e atraso.

2 Telefonia IP

2.1 Conceitos

Há décadas, desde a invenção do telefone, que a exigência básica para uma comunicação telefônica é o estabelecimento de um circuito entre os dois assinantes ou interlocutores. Isto se dá ainda hoje na maioria das ligações telefônicas realizadas. Apesar desse circuito ser digitalizado e multiplexado, sua presença é indispensável na comunicação telefônica que será tratada por **convencional** e que representa a telefonia pública hoje utilizada, conhecida como PSTN (*Public Switched Telephone Network*) ou RTPC (Rede Telefônica Pública Comutada). Um usuário do sistema telefônico é conhecido por **assinante**.

A utilização de redes de pacotes para tráfego de voz elimina a necessidade da presença de um circuito. Dentro deste conceito, a voz é empacotada e transmitida em redes compartilhadas, juntamente com dados. O protocolo preferido para este transporte tem sido o protocolo IP. A capilaridade da rede de dados utilizando esse protocolo abrange todo o mundo e isto é um fator fundamental para a sua escolha para redes de voz também.

2.2 Voz

2.2.1 Conceitos

A conversação humana é uma forma de onda mecânica com frequências principais na faixa que vai de 300 Hz a 3,4 kHz. Com o advento da telefonia digital, a voz é codificada em formato digital, que pode ser multiplexado no tempo de forma a compartilhar meios de transmissão. A representação digital de áudio oferece algumas vantagens: alta imunidade a ruído e estabilidade [1].

2.2.2 Compressão de sinais

Existem alguns aspectos relacionados com a natureza do sinal de voz que permitem adicionar mecanismos de compressão. São eles: distribuição não uniforme de amplitudes, correlação entre amostras sucessivas, correlação entre ciclos sucessivos, fator de inatividade ou percentual de silêncio, densidade espectral média não uniforme confirmando a redundância de informações e densidade espectral instantânea, ou presença de formantes que se mantêm inalterados durante 20 a 30 ms.

Uma possibilidade interessante é a supressão de silêncio. Em uma conversação telefônica, apenas 40% do tempo o canal de voz está ativo, ou seja, o usuário está falando. Um mecanismo conhecido como VAD (*Voice Activity Detection*) é usado para perceber a presença do silêncio e removê-lo. Esta função também pode ser realizada pelo *vocoder*.

Atualmente, os dois principais enfoques usados na codificação digital de voz são codificação da forma de onda, ou não-paramétrica, e codificação da fonte, ou paramétrica, baseado nos padrões de voz.

2.2.3 Verificação da Qualidade - MOS

O método MOS (*Mean Opinion Score*) [2] é derivado do método ACR (*Absolute Category Rating*) para estimar a qualidade de sistemas de transmissão de voz. O MOS requer que algumas pessoas avaliem a qualidade geral de exemplos de fala submetidos a *vocoders* para propósitos de comunicação telefônica. Os avaliadores atribuem notas em escala de cinco categorias, onde a nota 1 representa uma reprodução pobre e a nota 5 representa um reprodução fiel de excelente qualidade.

O objetivo deste teste pessoal é apresentar uma figura da opinião pessoal dos jurados observando o sinal como transmitido pelo sistema de comunicação ou pelo algoritmo sendo testado.

2.2.4 Comparação de Vocoders

O *vocoder* utilizado influi na qualidade do sistema de várias maneiras. Ele inclui por si uma distorção na amostra de voz. Esta distorção pode ser comparada entre vários *vocoders* utilizando a técnica MOS de avaliação de qualidade acústica da voz.

O segundo aspecto a ser observado é a sua largura de banda ocupada. Em uma rede saturada, com grande número de canais de voz pela rede, isto pode ser crítico. Especialmente em redes móveis, onde a largura de banda é escassa, o uso de um *vocoder* de baixa necessidade de largura de banda implica num aumento da capacidade do sistema em termos de número de canais. Com a digitalização da telefonia celular, o uso de *vocoders* permitiu uma melhor utilização dos recursos e conseqüente redução de custos.

2.3 Padrões de controle para Telefonia IP

2.3.1 Elementos

Para realizar uma chamada telefônica são necessários protocolos de controle e sinalização para execução de algumas tarefas como localização do usuário a ser chamado, notificação de chamada, notificação de aceite da chamada, início da transmissão de voz, finalização da transmissão de voz e desconexão. Isto sem considerar os serviços adicionais no ambiente de telefonia, como identificação do chamador, conferência com diversos assinantes

e siga-me. Inicialmente estas tarefas eram executadas por protocolos proprietários. Hoje, dois conjuntos de protocolos padrões dominam o cenário de telefonia, a saber: o padrão H.323, proposto pela ITU-T, *International Telecommunication Union* [3], e o padrão SIP proposto pelo IETF, *Internet Engineering Task Force* [4].

A maioria dos protocolos de sinalização está focada na conexão e no controle da chamada, que estão separados da transmissão de conteúdo multimídia (voz) entre os terminais. Isto porque a conexão e o controle de chamada podem envolver outros elementos, como um servidor de informações. Isto permite que os terminais transmitam a voz sem a intervenção de um terceiro elemento.

Para garantir a comunicação entre terminais na Internet e telefones presentes na rede telefônica convencional, os protocolos devem ser capazes de interagir com os equipamentos na rede tradicional. Esta interconexão é efetuada por um *gateway* que é responsável por converter comandos do protocolo de controle baseados em IP para protocolos tradicionais de sinalização como SS7, *Signalling System 7* ou Sinalização por Canal Comum, além de converter o fluxo de voz para sinais de voz compatíveis com a rede telefônica convencional.

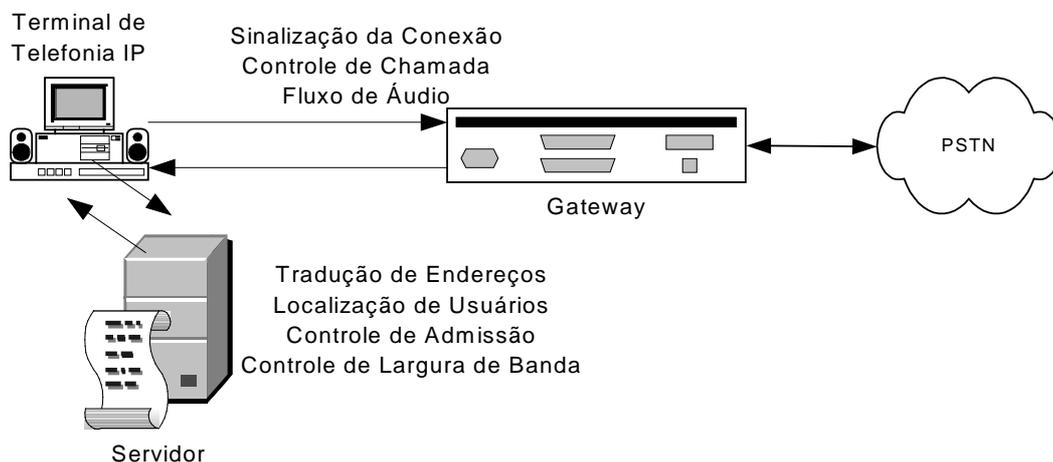


Figura 2 – Elementos e funções de Telefonia IP

Destacam-se três elementos principais, com variação entre os padrões, mas com funções semelhantes, conforme mostrados na figura 2. O primeiro elemento é conhecido por **terminal**, que é basicamente um computador com recursos multimídia para voz, executando um software padrão para a Telefonia IP. O segundo elemento é o **gateway** para permitir a comunicação com terminais telefônicos convencionais, em um ambiente de Telefonia IP. Num ambiente de computador para computador, este elemento seria substituído por outro terminal. Um terceiro elemento é o **servidor de informações**, com funções específicas de controle. Este elemento não tem funções de tráfego de voz, atuando apenas em tarefas secundárias de sinalização, controle de admissão, bilhetagem e localização de usuários.

O protocolo normalmente utilizado para transmissão do fluxo de voz é o *Real Time Protocol (RTP)* [5]. O RTP por sua vez utiliza os serviços do UDP (*User Datagram Protocol*) para transmitir estes pacotes. Isso é feito porque na Telefonia IP a velocidade com que é feita a comunicação é muito importante, enquanto a perda de pacotes pode ser compensada no processo de codificação e decodificação da voz.

2.3.2 H.323

A ITU-T propôs o padrão H.323, sendo o mais difundido atualmente, além de ter sido o primeiro padrão a tratar deste tema. As principais características do H.323 são:

- Algoritmos padrões de compressão;
- Protocolos utilizados para o controle da chamada, estabelecimento dos canais de comunicação e negociação de qualidade de serviço;
- Interoperabilidade com outros terminais de voz, como telefonia convencional, RDSI, voz sobre ATM, e outros, permitindo assim a construção de *gateways*.
- Elementos ativos do sistema e suas funções.

O protocolo H.323 utiliza em suas diversas funcionalidades uma família de Recomendações ITU-T: H.225 [7] para conexão, H.245 [6] para controle, H.323 [10] para grandes conferências, H.335 [9] para segurança, H.246 [8] para interoperabilidade com RTPC, e a série H.450.x [11] para serviços suplementares. Todos estes padrões fazem parte da série H de Recomendações.

Vários softwares comerciais e *freeware* implementam terminais do padrão H.323, sendo os principais: Microsoft NetMeeting [18], VocalTec Internet Phone [19], Netscape Conference [20] e NetSpeak WebPhone [21].

Também está disponível a pilha de protocolos que implementa o padrão H.323, com código fonte C e C++, compilável na plataforma Linux e também na plataforma Windows. Esta pilha de protocolos foi desenvolvida por um consórcio de desenvolvedores e pode ser encontrada no Projeto OpenH323 [12]. Como alternativa, existe outra pilha de protocolos, também disponível em código fonte para o padrão H.323, que é distribuída livremente pela Vovida Networks [13].

2.3.3 RTP - Real Time Protocol

O RTP [5] (*Real Time Transport Protocol*) é um protocolo padrão para transporte de dados com características de tempo real, como vídeo e áudio, que pode ser usado em diferentes serviços como mídia sob demanda e interativos, do tipo telefonia IP. O protocolo é composto por uma parte de transmissão de dados e outra de controle, chamada RTCP (*Real Time Control Protocol*). A parte de dados consiste de um protocolo leve, que provê suporte para aplicações com características de tempo real, incluindo reconstrução temporal de mensagens, detecção de perdas, segurança, selo de tempo e identificação de conteúdo.

O processo de transporte envolve acompanhar o fluxo de bits gerados pelo codificador de mídia, normalmente o *vocoder* de Telefonia IP, quebrando em pacotes, enviando-os pela rede e reproduzindo o fluxo de bits no receptor. O processo é complexo porque pacotes podem ser perdidos, ter atrasos variados e serem entregues fora de ordem. O protocolo de transporte deve permitir ao receptor detectar estas perdas. Ele deve também transportar informações de temporização de forma que o receptor possa fazer também compensações para o atraso.

Algumas funcionalidades do RTP são: seqüenciamento, sincronismo intramídia, identificação de conteúdo, identificação de quadro, identificação de origem. Já o RTCP, que acompanha o RTP, provê informações adicionais sobre seus participantes, tais como retorno de informações de Qualidade de Serviço, sincronismo intermídia, e identificação do usuário.

O RTCP necessita que todos os participantes enviem estas informações periodicamente. O protocolo usa o mesmo endereço do RTP, porém em porta diferente. Nem todas as aplicações RTP utilizam o RTCP, que pode ser dispensável para as aplicações.

2.4 Aspectos de tráfego de voz em tempo real

2.4.1 Atraso na Telefonia IP

Em um sistema de telefonia IP, vários fatores afetam a qualidade acústica percebida pelo usuário. Entre eles já está a escolha do algoritmo de codificação de voz e supressão de silêncio. Além disto, outro fator característico da qualidade é o atraso da voz, desde o momento em que é pronunciada até o momento em que é reproduzida.

Os atrasos definidos pelo ITU-T são mostrados na figura 3:

Excelente	Bom	Pobre	Inaceitável	
0	150	300	450	ms

Figura 3 – Parâmetros de qualidade de Telefonia IP

Um atraso importante a ser tratado neste trabalho é o atraso de formação dos pacotes. As amostras de voz, tomadas do processo de amostragem vão sendo agrupadas em um quadro. Depois de formado, o quadro deve ser enviado para o *vocoder*. Os *vocoders* mais eficientes permitem que um quadro de voz seja tratado de uma única vez. Isto permite que instruções especiais possam ser usadas, garantindo a eficiência de soluções de telefonia IP de alta densidade.

Isto, porém, tem uma desvantagem: nenhum dos dados pode ser processado até que o quadro esteja completamente cheio. Como a taxa de geração de amostras é normalmente 8000 vezes por segundo, o tamanho do quadro vai então interferir diretamente no atraso final. Por exemplo, um quadro de 100 amostras vai demorar 12,5 ms.

3 Computação Móvel

3.1 Conceitos

Um ambiente de **computação móvel** envolve computadores portáteis interligados em rede através de um sistema de ondas de rádio. O termo Unidade Móvel (UM) é usado para indicar o elemento de rede (elemento computacional portátil) interligado à rede de computação móvel. As Unidades Móveis são ligadas a uma rede, distribuídas em sub-redes, cada qual mantida por um grupo de antenas, conhecidas por Ponto de Acesso. Não é estritamente necessária a presença de Pontos de Acesso. Um ambiente de computação móvel pode ser desenvolvido de forma independente de uma infra-estrutura fixa, sendo conhecido por redes *Ad Hoc*, onde as Unidades Móveis podem se comunicar diretamente entre si sem a necessidade de uma infra-estrutura fixa.

A mobilidade porém, sempre implica em algumas condições, típicas do ambiente, que devem ser consideradas, independente do sistema de acesso [16]:

- Capacidade de comunicação limitada;

- Autonomia de energia limitada por baterias com limite de consumo;
- Limites físicos de hardware para garantia de portabilidade;
- Problemas de roteamento;
- Perda temporária de comunicação na troca de células.

3.1.1 Transmissão de Voz e Dados

Neste ambiente de computação móvel, o uso de telefonia IP pode ser uma solução para serviços de voz, com as seguintes vantagens:

- Inclusão de toda a rede, incluindo a rede fixa de telecomunicações que pode vir a funcionar sobre IP;
- Capacidade de compartilhamento da mesma rede de dados;
- Redução dos custos de telefonia;
- Integração em aparelho único, normalmente um computador pessoal;

A princípio, é possível utilizar o próprio sistema de telefonia celular para fazer a interconexão destes computadores em rede, porém, algumas limitações estão presentes neste tipo de acesso, especialmente no que diz respeito à baixa velocidade de acesso obtida neste sistema. Outras formas de comunicação podem também ser usadas como *Wavelan*, que permite a utilização de taxas de transmissão mais satisfatórias, atualmente já na taxa de 11 Mbps. Este sistema deve resolver, porém, problemas de roteamento e de *handoff*, que são solucionados pelo sistema celular na abordagem anterior.

3.1.2 Adaptabilidade

Ao vislumbrar agora o serviço de Telefonia IP, deseja-se adaptá-lo de forma a possibilitar seu uso em um ambiente de computação móvel. Verificam-se as características deste serviço, para propor algumas adaptações: tráfego de tempo real, exigência de largura de banda constante, serviço muito sensível a erros, altas exigências de QoS.

O uso de diversos algoritmos de codificação de voz influi na largura de banda necessária para o serviço e na qualidade da reprodução da voz no outro extremo da conversação, de forma a ter possivelmente uma reprodução de voz mais mecanizada, com perda de alguns sons da fala.

A adaptabilidade a ser trabalhada para telefonia IP pode ser feita sobre estes algoritmos de codificação e decodificação, definidos pela ITU-T, além da possibilidade de compactação e supressão de silêncio. Assim, a estação fixa pode alterar dinamicamente estes métodos, atuando diretamente na voz, de acordo com a disponibilidade de largura de banda. Estão definidos, nos protocolos para telefonia IP, mecanismos para mudança dinâmica de *vocoders*.

Outras propostas estão sendo estudadas para garantir esta adaptação:

- Transmissão de pacotes maiores, contendo não só o conteúdo de voz atual, mas também frações dos pacotes anteriores, permitindo assim uma maior recuperação em caso de erros;
- Retransmissão constante de pacotes, com o objetivo de substituir pacotes perdidos. Observa-se que esta abordagem deve aumentar a utilização de largura de banda para este serviço, em tantas vezes quanto for feita a retransmissão.

4 Computadores Usáveis

4.1 Requisitos para Computadores Móveis Usáveis

Computadores móveis usáveis são dispositivos com capacidade de processamento e execução de software embutido que podem ser fixados ao corpo humano como uma vestimenta, através de um cinto, bolsa ou colete de forma a garantir todas as suas funcionalidades durante a movimentação do usuário. Este termo vem do inglês *Wearable Computer*. As características diferem de um computador pessoal, especialmente em relação a alguns requisitos que devem ser considerados [17]: peso e tamanho, periféricos de entrada e saída, consumo de energia, resistência a choques e vibrações, resistência a variação de temperatura e umidade, interferências eletrostáticas e eletromagnéticas, e confiabilidade.

4.2 PC104

Entre as opções de arquiteturas para sistemas embutidos baseados em computadores pessoais, o padrão PC104 [17] se destaca como uma alternativa de construção modular de suporte aos dispositivos de hardware da arquitetura Intel x86. Este padrão, introduzindo em 1992, provê uma interface para dispositivos, semelhante em termos de sinalização elétrica com o barramento PC/AT, que por sua vez possibilita uso de dispositivos do tipo PCMCIA.

O padrão PC104 prevê formatos de empacotamento do PC próprios para sistemas embutidos, visando atender a requisitos de restrições de tamanho. Oferece total compatibilidade com o software para arquitetura PC tradicional na forma de módulos físicos empilháveis de tamanho compacto (3,6" x 3,8"). Para interface de dispositivos, o PC104 é baseado em um barramento conector auto-empilhável. A potência média de um dispositivo dentro de um padrão PC104 está entre 1 e 5 W, dependendo de quais módulos estão sendo usados.

5 Desenvolvimento do Protótipo

Esta seção descreve o protótipo desenvolvido, mostrando a arquitetura proposta, escolha dos *vocoders*, biblioteca para Telefonia IP, base móvel e implementação do *vocoder*.

5.1 Arquitetura do Celular IP

O sistema final é chamado Celular IP. A figura 4 mostra a arquitetura do sistema.

Destacam-se os componentes do sistema:

- Interface de rede local sem fio de 11 Mbps;
- Interface de voz, incluindo *vocoder*, supressão de silêncio e remoção de eco. O adaptador utilizado é conhecido por *Internet Phone Card*;
- Memória de armazenamento de massa do tipo flash, com capacidade de 16 MB;
- Processador AMD 486, com 16 MB de RAM;

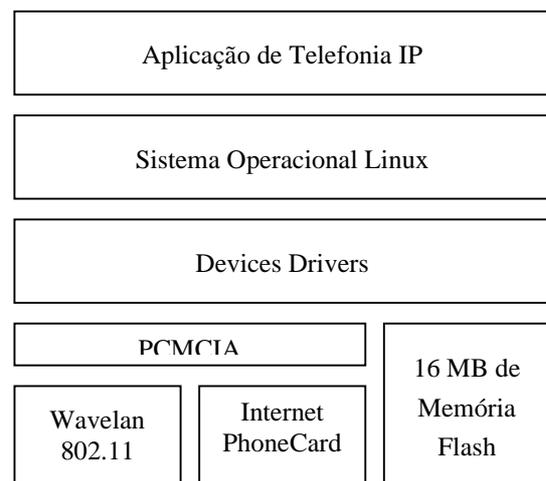


Figura 4 – Arquitetura do Celular IP

- Sistema Operacional Linux em uma distribuição própria para sistemas embutidos;
- Aplicação de Telefonia IP, capaz de realizar sinalização padrão para interoperar com os softwares disponíveis no mercado para este fim.

A interface do sistema ainda não foi desenvolvida, sendo necessária uma futura adaptação de visor e teclado, para melhor utilização. O modelo desenvolvido faz uso de operação remota, através do protocolo telnet, a partir de qualquer computador presente na mesma rede IP.

As dimensões do sistema, excluindo a bateria, são 95mm x 145mm x 45mm e peso de 300 gramas. Todos estes dados não estão levando em consideração a bateria.

5.2 Escolha de *vocoders*

Devem ser considerados alguns aspectos importantes na escolha dos *vocoders*: a qualidade acústica, fluxo de bits resultado do processo de compressão, o atraso da formação do pacote e a sensibilidade a erros.

Um último aspecto a ser analisado é a complexidade do algoritmo de compressão, para que possam ser dimensionados processadores que suportem o algoritmo sem imposição de atrasos adicionais. Isto pode ser feito, como é o caso da solução proposta, usando um dispositivo de hardware especial para implementação do *vocoder*, que suporte o algoritmo de compressão sem inclusão de atrasos adicionais.

5.2.1 Política de adaptação

O grande número de erros no ambiente de computação móvel pode implicar numa baixa qualidade do sistema de Telefonia IP. É interessante observar que embora a taxa de erros seja alta, normalmente o canal de comunicação não é escasso.

A idéia então é tornar redundante a transmissão de voz, de forma a suprir as perdas ocasionadas pelo canal de comunicação. Isto poderia ser feito de duas maneiras: transmitindo várias vezes os pacotes gerados, mantendo a transmissão de apenas um quadro por pacote, ou incluindo um quadro em vários pacotes adjacentes, conforme o grau de redundância que se queira utilizar.

5.2.1.1 Retransmitindo pacotes

Na primeira abordagem, transmitindo duas ou mais vezes o pacote, observa-se a desvantagem de incluir a sobrecarga adicionada pelos cabeçalhos dos protocolos a cada grau de redundância, aumentando o tráfego final. Assim, para uma comunicação usando o *vocoder* G.723, a 6,3 kbps, para cada quadro, observam-se 24 bytes de voz, mais 40 bytes de cabeçalho. Esta sobrecarga aumenta a largura de banda necessária em 167%, de 6,3 kbps para 16,8 kbps.

Para adicionar transmissão múltipla, multiplica-se a largura necessária pelo grau de redundância para obter a banda final necessária. Assim, o grau de redundância 2 implica em 33,6 kbps necessários.

Esta abordagem, porém, tem algumas vantagens:

- Facilidade de implementação;
- Interoperabilidade dentro do padrão, visto que a maioria dos softwares H.323 são capazes de identificar pacotes redundantes e eliminá-los;

- Pacotes menores têm maior probabilidade de chegar ao destino sem erros, pois necessitam de um tempo menor do meio livre, sem a influência de interferências.

Esta abordagem foi implementada sobre o pacote *OpenH323*, e verificam-se as afirmações acima, inclusive executando um teste de interoperabilidade com o software *Microsoft NetMeeting*, que também opera sobre o padrão H.323.

5.2.1.2 *Repetindo informações nos pacotes adjacentes*

Na segunda abordagem, a banda necessária é reduzida, pois a sobrecarga dos cabeçalhos não aumenta. Para o mesmo grau de redundância 2, observa-se uma banda necessária aumentada de 137% resultando em 23 kbps. A desvantagem desta abordagem é que os pacotes têm um intervalo entre seu envio, representado pelo tempo de formação do pacote, que, no G.723, corresponde a 30 ms. Assim, a repetição do pacote só estará disponível com um atraso adicional igual a este intervalo. Isto implica em adição de um atraso, que deve ser somado ao atraso final do sistema.

Uma segunda desvantagem desta abordagem é que, como ela não está prevista no padrão, os demais softwares de Telefonia IP não serão capazes de reconhecer os pacotes, de forma a não mais interoperar com o sistema. Esta abordagem somente deve ser usada em uma implementação proprietária, dentro de um ambiente restrito.

5.3 **Biblioteca para Telefonia IP**

Foi escolhida uma implementação disponível de terminal para Telefonia IP. Desde que estamos trabalhando com um código aberto, passível de modificações, é suficiente para este trabalho.

Entre os terminais disponíveis para esta finalidade, a opção escolhida foi pilha de protocolos desenvolvida pelo projeto *OpenH323* [12], juntamente com o terminal disponível nesta aplicação. Entre as várias vantagens deste projeto, está o suporte à placa *PhoneCard* da Quicknet, que implementa um *vocoder* sobre um DSP dedicado, de forma a eliminar esta tarefa do processador principal do sistema.

Destacam-se algumas características presentes neste terminal:

- Utilização dos padrões G.711, GSM e G.723.1 para conversão da voz em pacotes;
- Supressão de silêncio para os padrões utilizados;
- Comunicação com elementos servidores do tipo *Gatekeeper*;
- Manutenção e troca de lista de capacidades, basicamente de padrões para *vocoders* para negociação com o terminal remoto;
- *Buffer* para supressão de *jitter*.

O único problema do pacote *OpenH323* é o tamanho do código final gerado. Incluindo as bibliotecas necessárias, chegou-se a 20 MB de código executável, o que é inviável para os requisitos do sistema embutido utilizado.

Para resolver este problema foi necessário modificar a geração de código executável do pacote, incluindo todas as bibliotecas estaticamente, eliminando as informações de depuração, resultando em 4 MB de arquivo executável, o que está dentro dos limites de memória, tanto física, quanto de armazenamento.

5.4 Base Móvel

A base móvel é um elemento de rede padrão PC104, baseado na arquitetura PC, que combina miniaturização e mobilidade. O sistema agrega alguns componentes disponíveis no mercado para adicionar todas as funcionalidades necessárias. Os componentes são:

- Um placa-mãe JUMPtec DIMM-PC/486 [22], que integra funcionalidades completas de um 80486 SX, incluindo CPU, BIOS, 16 MB de memória DRAM, controlador de teclado e relógio de tempo real;
- Placa com 2 conectores PCMCIA, do tipo I, II ou III, com interface PC104;
- Placa com interface DIMM para a placa mãe e PC104 para os demais dispositivos do sistema;
- Adaptador de rede do tipo Wavelan Lucent padrão IEEE 802.11, com interface PCMCIA.

Estes elementos permitem a montagem de um sistema de arquitetura PC, capaz de executar o sistema operacional Linux, em uma distribuição embutida, conhecida como Coyote.

A base móvel já tem sido usada com sucesso em aplicações médicas no DCC/UFGM. Será utilizada uma estrutura semelhante, agregando uma placa PCMCIA com um DSP para as funções de *vocoder*, e o sistema Linux executando a aplicação de telefonia IP.

5.5 Implementação de Vocoder

Para implementação do *vocoder*, é necessário eleger uma placa que cumpra esta função e que possibilite uma interface fácil ao sistema. Foi escolhido uma placa da Quicknet [15], conhecida como *Internet PhoneCard*, capaz de realizar compressão de voz para os *vocoders* G.723.1, G.711, G.729a, e *TrueSpeech*, que conta com supressão de silêncio, remoção de eco, interface PCMCIA tipo II e *drivers* para Linux.

6 Avaliações e Testes

Esta seção descreve os testes efetuados usando o protótipo descrito acima.

6.1 Avaliação de *vocoders*

Com o objetivo de prover melhor qualidade acústica final ao usuário de Telefonia IP, sobre um ambiente móvel, são analisadas diversas características dos *vocoders* e da rede móvel, cujos resultados serão resumidos a seguir.

As características da rede móvel devem ser levadas em consideração neste trabalho, especialmente:

- Alta taxa de erros — Como os pacotes de telefonia IP não são retransmitidos em caso de erros, um erro significa a perda do pacote;
- Perda de pacotes por interrupções do canal de comunicação.

Neste teste, vários arquivos de voz foram transmitidos sobre as condições da Telefonia IP sobre uma rede móvel, onde existia uma carga não controlada, com o objetivo de gerar erros. Estes erros refletem as condições de uma rede móvel, conforme as características apresentadas acima. A avaliação foi feita sobre a qualidade acústica final de cada arquivo de voz sobre a técnica MOS [2] de avaliação de qualidade de voz. Uma comparação é feita

então, sobre o número de erros e a qualidade dos arquivos para os diversos *vocoders*, com o objetivo de identificar a sensibilidade a erros da rede móvel de cada um deles.

Como foi mostrado anteriormente, cada *vocoder* gera quadros a uma determinada frequência, de acordo com a taxa de transmissão. Segue então a série de passos para simular a telefonia IP para nossa avaliação:

1. Foram gravados pequenos arquivos de voz, sobre o formato PCM G.711;
2. Estes arquivos foram codificados para o formato de cada *vocoder*. A disponibilidade destes algoritmos limitou os testes, pois alguns *vocoders* são patenteados e somente disponíveis sob o pagamento de licenciamento;
3. Os arquivos codificados foram transmitidos respeitando o tamanho do quadro e frequência de transmissão, entre dois computadores interligados por uma rede móvel, nos dois sentidos simultaneamente, utilizando uma implementação simplificada do protocolo RTP, suficiente para prover as informações necessárias sobre os pacotes;
4. No destino, os pacotes são recebidos e armazenados em um *buffer*, que simula a supressão de *jitter*, assim como nos terminais de telefonia IP. Esses pacotes são retirados do *buffer* e gravados num arquivo de saída, na mesma taxa de quadros do *vocoder*, como seriam reproduzidos em um terminal de Telefonia IP;
5. Os arquivos recebidos são convertidos novamente para o formato G.711, pelo mesmo algoritmo de *vocoder*, para que possam ser reproduzidos em um software disponível nos sistemas multimídia convencionais.

Não é possível, através deste mecanismo, avaliar o atraso final imposto por um sistema de telefonia IP. Podemos, porém, garantir que este atraso está controlado, pois todos os parâmetros de atrasos de um terminal de Telefonia IP são utilizados, como atraso de rede, atraso de formação de pacote e atraso para supressão de *jitter*.

Os valores de *timeouts* não estão relacionados com o *vocoder* utilizado, mas sim com a situação da rede no momento da transmissão. Desta forma, estes valores, por si, não trazem nenhuma informação sobre os *vocoders*. A informação obtida sobre os *vocoders* é extraída com o cruzamento das informações de *timeouts* com as informações de qualidade acústica final através da técnica MOS, de forma a identificar a sensibilidade a erros dos *vocoders*.

Foram analisados os seguintes *vocoders*: G.711 a 64 kbps, G.726 a 24, 32 e 40 kbps e G.723 a 5,3 e 6.3 kbps. O primeiro não implica em compressão de voz, apenas na codificação usada na telefonia convencional. O segundo, implica em codificação baseada na forma de onda, e o terceiro representa compressão paramétrica.

Para cada amostra transmitida foram anotados o *jitter*, e a presença de *timeout*. Ao final da transmissão do arquivo, observam-se referências sobre o *jitter*, caracterizado pelo *jitter* médio de cada arquivo, acompanhado do desvio padrão; e sobre o número de *timeouts*. Também foi anotado o *jitter* máximo observado no período.

É importante observar que foram efetuadas transmissões onde, para todos os *vocoders*, um pacote continha o mesmo tempo de reprodução de voz, de forma que um *timeout* representa a mesma perda de informação. Do contrário, não seria significativa a comparação perda *versus* qualidade. Cada pacote representa 30 ms de conversação para qualquer *vocoder*.

Cruzando as informações de *timeouts* com a qualidade acústica final, é possível obter informações sobre sensibilidade a erros de cada *vocoder*. Foram gerados gráficos para representar este comportamento para todos os *vocoders*. Estão representados nas figuras 5, 6 e 7 os gráficos para os *vocoders* G.711, G.723.1 a 5.3 kbps e G.723.1 a 6.3 kbps, respectivamente.

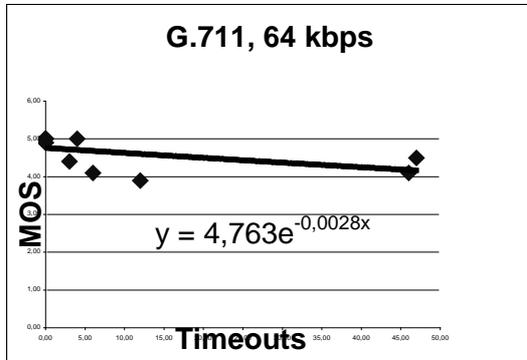


Figura 5 – Sensibilidade a erros do vocoder G.711

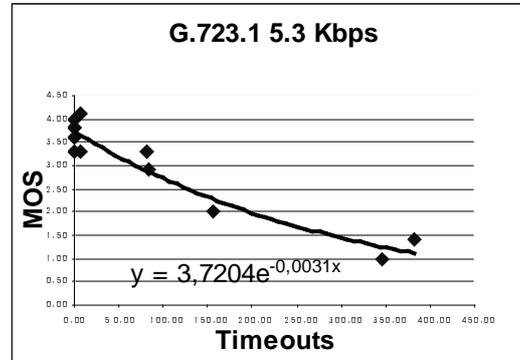


Figura 6 - Sensibilidade a erros do vocoder G.723.1 a 5.3 Kbps

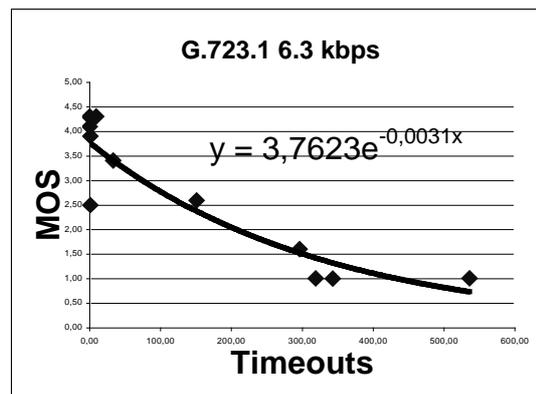


Figura 7 - Sensibilidade a erros do vocoder G.723.1 a 5.3 Kbps

A partir de uma análise dos gráficos, identifica-se a sensibilidade a erros de cada *vocoder*. Esta sensibilidade é apontada nos gráficos pela inclinação da curva, resultante da interpolação dos dados da tabela. Como a melhor interpolação resulta em uma curva exponencial, o coeficiente exponencial é indicativo da sensibilidade a erros. Na tabela 1 são mostrados os valores deste coeficiente exponencial para todos os *vocoders*:

<i>Vocoder</i>	G.711	G.723.1	G.723.1	G.726	G.726	G.726
Fluxo (kbps)	64	5,3	6,3	24	32	40
Coeficiente exponencial	-0,0028	-0,0031	-0,0031	-0,0061	-0,0050	-0,0032

Tabela 1 – Sensibilidade a erros dos diversos *vocoders*

Verifica-se que a transmissão sobre o padrão G.711 tem uma sensibilidade menor a erros. Pode-se observar também, que a sensibilidade a erros não é proporcional à taxa de transmissão. Como o *vocoder* G.726 é baseado na transmissão da diferença entre sucessivas

formas de onda, ele tem a característica de ser dependente dos pacotes passados, de forma que a perda de um pacote resulte na reprodução incorreta de trechos de voz correspondente a vários pacotes. Os *vocoders* G.711 e G.723.1, onde os pacotes não dependem da informação dos pacotes anteriores, implicam em distorções menores, motivos pelo quais são mais usados em ambientes sujeitos a erros.

6.2 Testes Finais

A montagem do sistema exigiu algumas adaptações do Linux ao sistema embutido, incluindo modificação de parâmetros de configuração, modificação de valores no código-fonte e compilação do *kernel*, de acordo com as necessidades da base móvel, e também da distribuição embutida utilizada.

Após a montagem, foram realizados alguns testes de utilização do sistema, sempre anotando os valores de perdas de pacotes para as diversas distâncias entre a base móvel e o ponto de acesso.

Nossos testes utilizaram um ponto de acesso, ligado por rede *Ethernet* à rede do laboratório onde estava presente uma estação de trabalho utilizando o software *Microsoft NetMeeting* para interoperar com o sistema.

A rede utilizada para testes estava sem carga, totalmente dedicada ao uso da Telefonia IP. Não havia, portanto, limitações de uso de banda, somente limitações da transmissão sem fio. A tabela 2 mostra os resultados obtidos.

	Duração (min)	Pacotes transmitidos	Pacotes recebidos	Pacotes perdidos	Percentual de perda
Até 30m sem obstáculos	5	3500	10000	0	0
100m sem obstáculos	8	1531	5121	174	3,81%
10m através de uma parede*	5	3035	9058	30	0,33%
100m através de paredes	4	2005	6921	396	5,72%

Tabela 2 – Avaliação inicial do sistema

O experimento marcado com (*) corresponde à localização do ponto de acesso dentro de um cômodo fechado, com a base móvel se deslocando externamente à este cômodo.

Analisando estes dados pode ser destacado:

- O número de pacote enviados é cerca de três vezes menor que o número de pacotes recebidos. Isto se deve ao fato de nossa aplicação enviar um pacote com três quadros, ao invés de apenas um quadro por pacote, como faz o *NetMeeting*. Se analisados o número de bytes enviados, observam-se valores muito mais próximos;
- A perda de pacotes se inicia em ambientes abertos, com distância superior a 100 metros entre o Celular IP e o ponto de acesso, em áreas sem obstáculos. Isto se deve ao fato de que não são utilizadas antenas, que aumentariam o alcance; à faixa de frequências utilizada, que tem alcance restrito; e à própria potência do equipamento;

- Com o uso do Celular IP dentro de prédios, salas, etc, a perda de pacotes aumenta consideravelmente. Os mesmos argumentos apresentados anteriormente explicam também esta perda de pacotes.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

A contribuição deste trabalho pode ser destacada nos seguintes pontos:

- Análise dos diversos *vocoders* usados na Telefonia IP em relação a aspectos como sensibilidade a erros, influência do atraso e *jitter*, taxa de transmissão e largura de banda necessária;
- Adaptação do sistema operacional Linux para um computador PC104, com interface PCMCIA, envolvendo agregação de diversos módulos de software, como *device drivers* e aplicativos sobre o *kernel* do Linux;
- Desenvolvimento de uma distribuição Linux embutida que suporta PCMCIA, *Wavelan* e Telefonia IP.
- Análise de um aplicativo com exigências de desempenho sobre uma plataforma embutida com sérias restrições de processamento, memória e armazenamento de massa.
- Análise de perda de pacotes em uma aplicação com tráfego de tempo real sobre um ambiente de redes móveis.

Os experimentos e testes efetuados mostram ser possível criar um sistema de telefonia celular utilizando a arquitetura PC para construção do sistema e pilha de protocolos TCP/IP, suportado por uma tecnologia de rede móvel sem fio como o padrão IEEE 802.11.

Espera-se que em alguns anos as cidades estejam cobertas por pontos de acesso desta tecnologia, o que permitirá o uso de computadores portáteis para acesso à Internet, bem como o uso de aparelhos com arquitetura semelhante à arquitetura descrita neste trabalho para comunicação telefônica de baixo custo.

Como trabalhos futuros, prevê-se alguns aspectos que não foram analisados nesse trabalho, mas que são importantes para o sistema.

Não foram utilizados no Celular IP técnicas de qualidade de serviço, especialmente por não existirem definições nem mesmo implementações definitivas que possam ser facilmente agregadas.

Também não foram realizados experimentos envolvendo vários pontos de acesso, de forma a prever o comportamento do sistema em situações de *handoff*. Assim sendo, as características disponíveis com o protocolo IP móvel não puderam ser estudadas neste trabalho. Seria necessária uma infra-estrutura de rede móvel maior para a realização destes testes, com vários pontos de acesso espalhados por diversas sub-redes.

Uma outra necessidade do sistema é a redução do consumo e utilização de uma bateria mais compacta, e com maior capacidade, o que permitiria uma maior autonomia de energia para o sistema.

A utilização do protocolo H.323 também não deve ser tomada como padrão, uma vez que o protocolo SIP desponta com grandes vantagens. É possível substituir o aplicativo de Telefonia IP por um aplicativo que utilize o protocolo SIP para sinalização da Telefonia IP.

A política de redundância de pacotes também pode ser mais bem estudada e analisada, de forma a tentar suprir falhas na transmissão, e dimensionar um sistema que ocupe um mínimo de largura de banda com qualidade máxima.

É também possível, dentro do padrão H.323 e SIP, utilizar uma política de troca de *vocoders* automática durante a conversação, de forma a adaptar às condições da rede móvel. Estas condições devem ser escutadas através de algum mecanismo de análise de qualidade de serviço.

Referências Bibliográficas

- [1] D.Y. Pan, *Digital Audio Compression*, Digital Technical Journal, Vol. 5, Nº 2, 1993
- [2] ITU-T Recommendation, *Telephone Transmission Quality Subjective Opinion Tests - Methods for Subjective Determination of Transmission Quality*
- [3] ITU-T Recommendation H.323, *Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service*, 1996
- [4] M. Handley, *SIP: Session Initiation Protocol*, IETF, RFC 2543, Março 1999
- [5] Schulzrinne, Casner, Frederick, Jacobson, *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, RFC 1889, IETF, Fevereiro, 1996
- [6] ITU-T Recommendation H.245, *Control protocol for multimedia communication*, setembro, 1998
- [7] ITU-T Recommendation H.225.0, *Call signalling protocols and media stream packetization for packet based multimedia communication systems*, 1998
- [8] ITU-T Recommendation H.246, *Interworking of H-Series multimedia terminals with H-Series multimedia terminals and voice/voiceband terminals on GSTN and ISDN*, 1998
- [9] ITU-T Recommendation H.235, *Security and encryption for H-Series (H.323 and other H.245 based) multimedia terminals*, 1998
- [10] ITU-T Recommendation H.332, *H.323 extended for loosely-coupled conferences*, 1998
- [11] ITU-T Recommendation H.450.1, *Generic functional protocol for the support of supplementary services in H.323*, 1998
- [12] *The Open H.323 Project* - <http://www.openh323.org>
- [13] *Vovida Networks, Inc* - <http://www.vovida.com>
- [14] *MPL (Mozilla Public license)* - <http://www.mozilla.org/NPL/MPL-1.0.html>
- [15] *QuickNet Technologies, Inc* - <http://www.quicknet.net/>
- [16] Mateus, Geraldo R.; Loureiro, Antonio A. F.; *Introdução à Computação Móvel – 11ª* Escola de Computação - SBC, 1998
- [17] Lehrbaum, Rick, *Using PC/104 Embedded-PCs in Mobile and Portable Applications* – Ampro Computers, 1997
- [18] *Microsoft NetMeeting* – <http://www.microsoft.com/netmeeting>
- [19] *VocalTec Communications* - <http://www.vocaltec.com/>
- [20] *Netscape Conference* - <http://home.netscape.com/>
- [21] *NetSpeak WebPhone* – <http://www.netspeak.com>

[22] *JUMPt*ec *DIMM-PC/486* – disponível em
<http://www.jumptec.de/product/data/components/dimmpc486.html>