

Uma Arquitetura para a Integração e Avaliação da Tecnologia Voz sobre IP em Enlaces PLC

André M. Zenun¹, Diego L. Kreutz², Rafael R. Righi¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI Florianópolis – SENAI-SC
Rodovia SC 401, nº 3730 – 88.032-005 – Florianópolis – SC – Brasil

²Universidade Luterana do Brasil – Campus de Santa Maria
Caixa Postal 21834 – 97.020-001 – Santa Maria – RS – Brasil

amz@cstrc.ctai.senai.br, kreutz@inf.ufsm.br, righi@ctai.senai.br

Resumo. *As redes PLC utilizam a infra-estrutura de energia elétrica para prover um enlace de dados. Este artigo apresenta uma arquitetura que proporciona a integração entre redes PLC e comunicações VoIP, levando em consideração aspectos como o gerenciamento, a segurança e a qualidade de serviço. Por fim, são discutidos o protótipo e os resultados da arquitetura.*

1. Introdução

A tecnologia que viabiliza a comunicação de dados via rede elétrica recebe o nome *Powerline Communications* (PLC). Ela permite a criação de enlaces de dados que tornam possível a troca de informações entre diferentes serviços ou componentes, tendo como único canal de comunicação a própria rede elétrica.

No atual cenário de desenvolvimento de novas tecnologias, a união dos conceitos de PLC e VoIP pode resultar em benefícios aos provedores de serviços e usuários finais. Entre os benefícios que podem surgir com uma infra-estrutura integradora de tecnologias estão a redução de despesas, a integração de sistemas (redes convergentes) e o oferecimento de uma infra-estrutura acessível às comunidades de zonas menos povoadas. No decorrer do artigo são apresentados o projeto, o protótipo e a avaliação de uma arquitetura que integra essas duas tecnologias, bem como suas peculiaridades em relação a características de segurança e gerenciamento.

Este artigo está organizado em 5 seções. A seção 2 apresenta os aspectos teóricos relacionados com os temas tratados e outros trabalhos científicos da área em estudo. A seção 3 expõe a arquitetura que integra as tecnologias VoIP e PLC. A seção 4 discute os resultados e a avaliação do protótipo desenvolvido. Por fim, têm-se a conclusão, que reúne um resumo das principais idéias e contribuições atingidas.

2. Contextualização das Redes PLC e VoIP

São apresentados os principais protocolos para a transmissão de voz sobre IP e as características das redes PLC. Os trabalhos relacionados a esta pesquisa também são mencionados nesta seção.

2.1 Voz sobre IP

O VoIP é a tecnologia que torna possível realizar ligações telefônicas utilizando uma rede de comutação de pacotes IP [Ahuja e Ensor, 2004]. Para que o VoIP seja possível é necessária a transição de uma infra-estrutura de telefonia de circuitos digitais comutados

para a comutação de pacotes. No entanto, esta transição pode ser complexa e de alto custo agregado. Outros aspectos dessa mudança são os que impactam diretamente na qualidade do serviço oferecido, como a qualidade da voz em redes que utilizam o protocolo IP. Os principais fatores que afetam esta qualidade são a latência, o *jitter* e a perda de pacotes. Em uma rede PSTN (rede telefônica pública e comutada) a latência típica de uma ligação não ultrapassa 150 milissegundos - nível aceitável para o ouvido humano [Avaya, 2003].

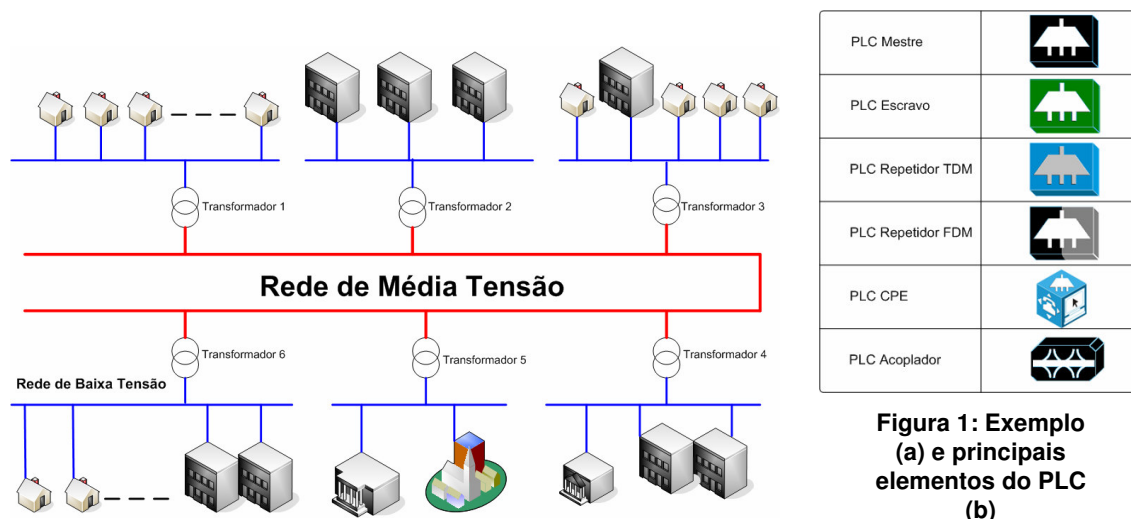
Com o objetivo de viabilizar a voz sobre IP, existem protocolos de sinalização e controle de chamadas. Os padrões mais relevantes são o H.323 (ITU) e o SIP (IETF). Nos dois casos os dados multimídia são transmitidos utilizando o conjunto de protocolos RTP/RTCP.

2.2 Enlaces PLC: *Powerline Communications*

As redes de transmissão de energia estão presentes na maioria dos lares dos habitantes do planeta Terra. Enquanto outras tecnologias de telecomunicação precisam de novas infra-estruturas para o suporte de transporte de dados, o PLC faz uso de sistemas de transmissão de energia largamente difundidos. Com esta característica, evita-se os custos de instalação e manutenção necessários na construção de redes convencionais para a transmissão de dados. Atualmente já é possível o estabelecimento de conexões de até 200Mbps [Logvinov et al, 2006] na camada física da rede PLC, permitindo que serviços de voz sobre IP sejam ofertados.

2.2.1 Estrutura e Elementos das Redes de Acesso PLC

Um sistema PLC pode utilizar as redes de baixa tensão como meio de transmissão para criar redes de acesso a serviços de telecomunicação. As redes de baixa tensão consistem de um transformador e cabos de energia conectados aos usuários finais, que também são conectados à rede através de medidores. Dessa forma, ela pode ser utilizada para a criação das chamadas redes de comunicação “última milha”. No exemplo da Figura 1(a) tem-se uma rede de média tensão ligada a uma rede de baixa tensão através de transformadores, os quais estão conectados através de cabos de energia aos usuários.



A conectividade da rede PLC com a Internet é possível através da infra-estrutura montada com os equipamentos presentes nas redes de média e baixa tensão, que podem dispor de interfaces de Fibra Ótica ou *Fast Ethernet*. Assim, o usuário domiciliar apenas precisa de um modem conectado à rede de baixa tensão para acessar a Internet.

As redes PLC são compostas de equipamentos distribuídos pela rede de energia elétrica. Os equipamentos localizados na média tensão são os responsáveis pela preparação do sinal proveniente da Internet para trafegar na rede PLC. Os principais elementos necessários para a criação de uma rede PLC podem ser vistos na Figura 1(b). A rede PLC possui uma estrutura mestre-escravo organizada de forma hierárquica, podendo possuir diversos níveis. Um equipamento PLC Mestre é responsável por disponibilizar o sinal PLC na rede elétrica. Esse equipamento controla o acesso à rede por meio de uma autenticação, evitando o acesso e uso indevido dos recursos. Um equipamento PLC Escravo estabelece uma conexão com um equipamento PLC Mestre criando um enlace ponto-a-ponto. Geralmente ele localiza-se no final de um ramo PLC [Hrasnica et al, 2004].

Os equipamentos PLC Repetidores são necessários para expandir a cobertura do sinal PLC ou tornar o sinal mais forte. Algumas situações como a distância e o ruído excessivos podem impossibilitar que o sinal chegue ao usuário. Um equipamento PLC CPE faz a interface com a rede PLC permitindo que o computador do usuário se conecte com a rede através de interfaces padrão do mercado (Ethernet ou USB) [Hrasnica et al, 2004].

2.2.2 Gerência e Segurança da Rede PLC

Uma rede PLC pode variar em tamanho, complexidade e ser constituída de diferentes dispositivos, inclusive ligando redes distintas. Logo, a administração desses elementos de rede é importante. Os equipamentos PLC geralmente utilizam o protocolo SNMP para viabilizar um gerenciamento centralizado. Para tornar este gerenciamento mais eficaz, os fabricantes disponibilizam uma MIB proprietária, que permite um maior controle sobre os ativos da rede.

As redes PLC oferecem diversos mecanismos de segurança, como a criptografia, a autenticação e as redes locais virtuais (VLANs). Com a utilização de VLANs, o tráfego de dados e de gerenciamento são confinados em redes separadas. A criptografia na rede PLC acontece na camada de enlace, garantindo confidencialidade ao enlace estabelecido pelo usuário – são cifrados os dados entre os equipamentos PLC Mestre, PLC Repetidor e CPEs (CPE é o equipamento localizado junto ao usuário). A autenticação auxilia o controle de acesso à rede e a utilização de seus recursos. Ela ocorre no momento em que um equipamento PLC CPE, Escravo ou Repetidor tenta se associar a rede.

3. Arquitetura de Integração entre VoIP e PLC

A integração entre VoIP e PLC é ilustrada na Figura 2. Ela é composta por quatro VLANs para a segmentação do tráfego de voz H.323, SIP, de gerenciamento e dos dados do usuário. A infra-estrutura possui um roteador, um switch e um firewall que realizam a conexão com a Internet. Abaixo dessa estrutura estão os equipamentos PLC que viabilizam o tráfego de dados utilizando a rede elétrica.

Alguns aspectos importantes foram levados em consideração na composição dessa infra-estrutura. Eles são a segurança, a redundância das conexões com a Internet e a qualidade de serviço. A técnica 802.1p é utilizada para que o tráfego de voz tenha prioridade na rede [IEEE 802.1d, 2004]. As próximas seções caracterizam em detalhes a arquitetura.

3.1 Características das Redes Locais Virtuais

A VLAN de voz H.323 (primeira) é composta pelos servidores e equipamentos que tornam possível a utilização deste protocolo na rede. O servidor Gatekeeper controla o Gateway de voz e as chamadas realizadas pelos usuários da rede. Na VLAN de voz SIP (segunda) existe uma infra-estrutura semelhante a da VLAN H.323, contando com os servidores que

compõem a estrutura de comunicação SIP, como o servidor Proxy, responsável pela autenticação dos usuários, o servidor *Redirect* e o Registrar - responsável pelo armazenamento dos dados sobre a localização dos usuários. Semelhante a VLAN H.323, a VLAN de voz SIP possui o *Softswitch* ou PABX IP que realiza a conexão com a PSTN.

Os servidores que pertencem a VLAN de gerenciamento (terceira) são os responsáveis por monitorar e controlar a rede PLC. São eles: (i) o *Network Management System*, que monitora os equipamentos da rede; (ii) o Servidor RADIUS, responsável pela autenticação; (iii) o Servidor TFTP, que possui os arquivos de configuração e imagens de *firmware* utilizados pelos equipamentos PLC; (iv) servidor DHCP para atribuição dinâmica de endereços IP. Por fim, existe a VLAN de dados do usuário.

3.2 Priorização dos Pacotes com o 802.1p

Para que os pacotes de voz tenham prioridade de envio sobre os outros dados na fila de transmissão é utilizada a técnica 802.1p [IEEE 802.1d, 2004]. A técnica 802.1p é usada quando o quadro possui uma marcação de VLAN. Na arquitetura proposta as VLANs estão presentes, o que viabiliza o uso desse padrão.

3.3 Funcionamento da Integração

A Figura 3 exibe o processo de funcionamento da arquitetura. O CPE, em uma primeira etapa, inicia uma busca por um equipamento PLC Mestre em uma faixa de frequência entre 1 e 34Mhz. No momento que o modem encontrar esse equipamento é feita a análise da qualidade do canal. O modem faz a associação na rede após a escolha do equipamento com o melhor sinal. O equipamento Mestre solicitado envia uma requisição para o servidor de autenticação RADIUS, localizado na VLAN de gerenciamento (etapa 2).

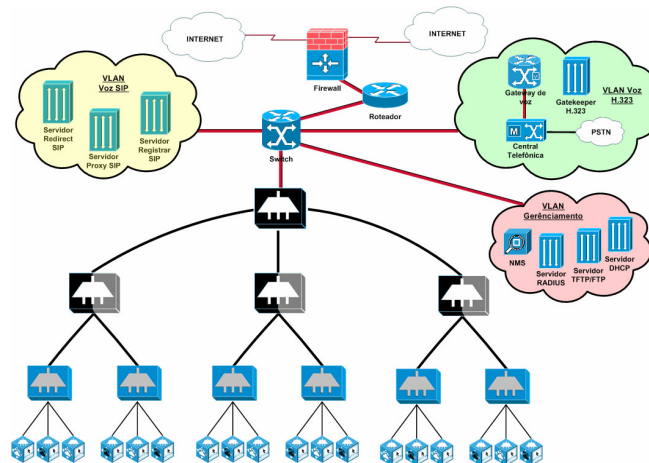


Figura 2: Arquitetura para a integração entre PLC e VoIP

O servidor de autenticação, ao retornar uma resposta positiva para o equipamento PLC Mestre, libera o acesso do modem (etapa 3). Após finalizar o processo de autenticação com sucesso, o modem CPE requisita um endereço IP para que ações de gerenciamento como a atualização de *firmware* e a mudança do arquivo de configuração possam ser feitas (etapa 4). No momento da requisição do endereço IP, o servidor DHCP envia informações da rede ao modem, como o endereço do servidor TFTP, o nome de seu arquivo de configuração e, no caso do modem possuir um módulo de voz sobre IP, seu número de telefone. Essas informações são necessárias para que o modem funcione corretamente. Informações como os parâmetros de VLAN, QoS, plano de ligações, servidor *Gatekeeper* e *Codecs* estão presentes no arquivo de configuração (etapas 5 e 6).

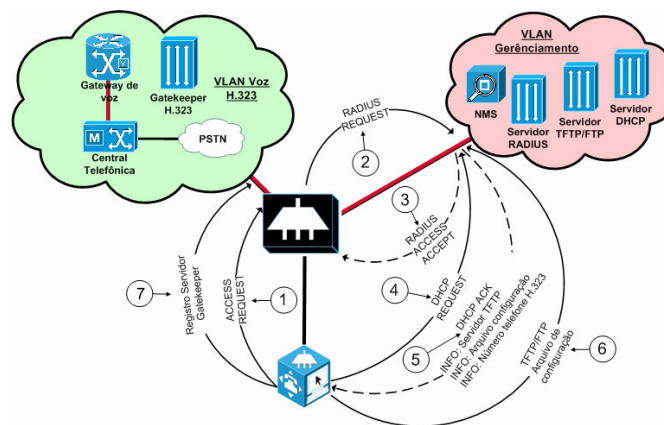


Figura 3: Ilustração do processo de associação à rede PLC

A seguir, o modem tenta se conectar ao servidor Gatekeeper que foi especificado no arquivo de configuração (etapa 7). Terminado esse processo, o telefone conectado a porta RJ-11 do modem tem um sinal de linha e está habilitado a realizar chamadas. Nesse ponto as interfaces Ethernet e USB estão habilitadas e liberadas para uso. A classificação dos pacotes, necessárias para garantir níveis de qualidade de serviço, ocorre no modem do usuário, onde são definidas as prioridades.

4. Avaliação da Arquitetura

A arquitetura proposta na seção 3 foi parcialmente implementada, como pode ser visto na Figura 4. A avaliação do protótipo foi realizada em laboratório, utilizando uma topologia elétrica controlada. O principal objetivo da utilização do protótipo foi avaliar as características de chamadas VoIP para fora da rede PLC. Os resultados analisados foram em relação às perdas de pacotes, latência máxima, latência média e latência mínima alcançadas. Na Figura 4 também é ilustrado o fluxo dos dados no momento em que os testes ocorreram.

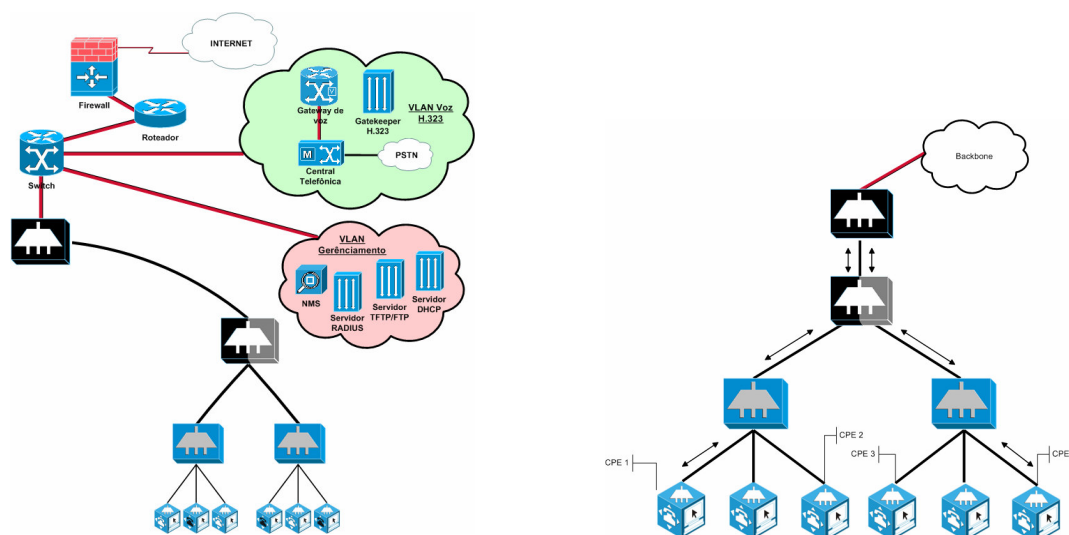


Figura 4: Ilustração do desenvolvimento do protótipo

Como pode ser observado, o tráfego de voz é originado em modems de usuários distintos, estes localizados também em equipamentos Repetidores diferentes. A imagem do backbone é uma representação abstrata da conexão com o centro de operações onde estão localizados o Gatekeeper e o Gateway de voz. O protocolo 802.1p permite que sejam

especificadas até oito prioridades. Por restrições do equipamento utilizado, que reserva uma das oito prioridades, os testes realizados utilizaram sete prioridades (Figura 5(a)).

A Figura 5(b) representa a perda de pacotes referente ao modem CPE 1 (veja Figura 4). Observa-se que as prioridades 5 e 6 obtiveram os valores mais baixos de latência e perda de pacotes – nestes níveis a perda foi de 0%. As outras prioridades testadas podem ser descartadas para prover serviços de voz, pois a perda está bem acima de 3%, sendo este o valor máximo aceitável [Avaya, 2003].

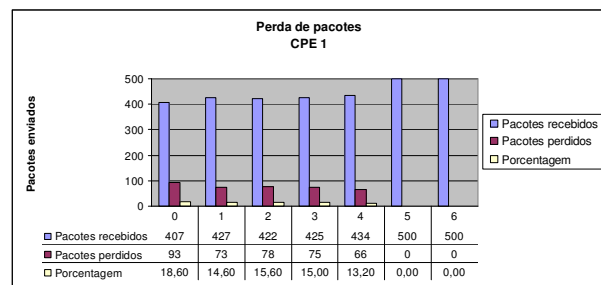
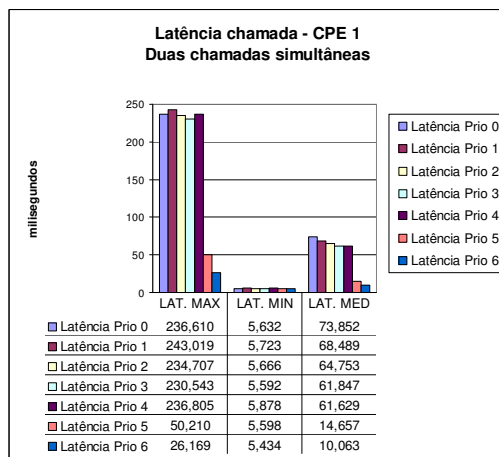


Figura 5: Prioridades avaliadas (a) / Perda de pacotes do modem CPE 1 (b)

5. Conclusão

A contribuição principal deste artigo foi definir uma arquitetura onde seja possível oferecer serviços de voz em redes PLC, mantendo a qualidade necessária e desejada em uma chamada telefônica. A técnica de qualidade de serviço utilizada nesta pesquisa foi a IEEE 802.1p, a qual verifica os bits de prioridade localizados no quadro (camada 2). Também foram expostos as peculiaridades e o funcionamento de uma rede PLC típica.

A título de trabalhos futuros são citadas as seguintes investigações: (i) avaliar o limite de modems que um mesmo PLC Mestre é capaz de comportar, considerando os requisitos mínimos de latência necessários para prover serviços de voz com qualidade; e (ii) comparar o desempenho do protocolo SIP na rede PLC em relação ao protocolo H.323, utilizando a arquitetura proposta nesta pesquisa.

Referências

- Ahuja, Sudhir; Ensor, Robert (2004). VoIP: What It Is Good For? *ACM Queue*. ACM Press. New York, Vol. 2, n. 6, pp. 48-55. ISSN:1542-7730.
- Avaya (2003). Avaya Design Principles: Evaluating Customer Requirements. *Avaya University*. EUA, 668 p., Disponível em: <http://www.avaya-learning.com/>.
- Hrasnica, Halid; Haindine, Abdelfatteh e Lehnert, Ralf (2004). Broadband Powerline Communications: Network Design. Ed. John Wiley & Sons, 290 p., ISBN: 0470857412.
- IEEE 802.1d (2004). IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Access Control (MAC) Bridges. EUA, 2004, 281p., Disponível em: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1D-1998.pdf>.
- Logvinov, O.; Lawrence, D. M.; Bo Zhang e Reeber, J. E. (2006). End-to-End Approach to the Development of Powerline Communication Technologies. *Proceedings of IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. pp. 153-154. Las Vegas, USA.