

Sistema de Vídeo-Monitoramento e Controle de Subestações com transmissão via TCP/ IP

C.S. Yabiku e D.Fischer – CTEEP H.K.Kiyohara, L.C.Magrini, M.Masuda, M.G.M.Jardini - GAGTD/USP

Resumo - Este trabalho apresenta um projeto voltado ao vídeo-monitoramento de equipamentos em subestações. Um protótipo deste sistema foi montado na subestação de Bom Jardim da CTEEP. Neste projeto, embora o sistema permita o monitoramento de qualquer um dos equipamentos da subestação, optou-se num primeiro momento em utilizá-lo para acompanhar o funcionamento de chaves seccionadoras, por apresentarem elevada taxa de falhas durante as manobras.

No caso de subestações desassistidas a CTEEP utiliza a comunicação através de rádio, onde a capacidade de transmissão de dados costuma ser muito baixa. Esta taxa limita o sistema em dois aspectos: (1) necessidade de formato de imagem com uma boa taxa de compressão, já que o tamanho da imagem é proporcional a sua qualidade (e uma boa qualidade é necessária); e (2) redução do número de imagens enviadas ao operador, limitadas a apenas aquelas que identifiquem os eventos elétricos ocorridos na subestação. O protocolo de comunicação adotado é o TCP/IP, onde será verificado o seu desempenho na transmissão de imagens em condições de subestação desassistida.

Palavras-chave— câmera, imagem, monitoramento, PTZ, seccionadora, TCP/IP.

I. INTRODUÇÃO

Usualmente as concessionárias fazem o acompanhamento remoto dos estados dos equipamentos, medições, bem como o controle à distância de suas subestações através de sensores e dispositivos inteligentes. A partir das informações e sinais de alarmes fornecidos por estes equipamentos, o operador deve tomar as ações necessárias de forma a operar, corrigir ou prever falhas no sistema elétrico. No caso das subestações desassistidas entretanto, este procedimento pode ser insuficiente para permitir a operação segura do sistema elétrico. O recurso de visualização de imagens de áreas (ou equipamentos) de interesse na subestação também pode representar uma fonte importante de informações para o ope-

rador. Outra vantagem da câmera é a posição estratégica na sua instalação: enquanto um ser humano deve manter distâncias seguras dos equipamentos de alta tensão e seu ângulo de visão pode ser prejudicado na inspeção de equipamento vivo, a câmera pode ser instalada próxima ao equipamento, e alguns tipos ainda permitem movimentos de pan (horizontal), tilt (vertical) e zoom, que são recursos que podem ser também utilizados remotamente.

Na CTEEP a utilização de câmeras é dificultada pois muitas das subestações desassistidas utilizam canais de comunicação por rádio de baixa velocidade (9,6 kbps). Esta taxa é insuficiente para a transmissão em tempo real das imagens oriundas de uma só câmera instalada na subestação. A solução adotada foi a de vincular a transmissão apenas aos eventos ocorridos no sistema elétrico, que no protótipo ficou limitado a abertura de uma chave seccionadora. O protocolo de comunicação tanto para imagens como para ações de controle da câmera será o TCP/IP, onde será estudado seu desempenho e viabilidade frente aos limites impostos pela taxa de transmissão disponível.

II. PADRÕES DE IMAGEM

Nos sistemas de monitoramento patrimonial a gravação em fita cassete tradicional foi substituída pelo processo digital. Esta mudança se deu graças às vantagens em termos de qualidade, praticidade, custo e principalmente pelo volume de armazenamento e mídia (HD, CD-ROM, DVD, DAT). Contudo, a gravação contínua de imagens de vídeo é um processo que demanda grandes quantidades de memória. Quanto melhor for a definição de uma imagem, maior será o consumo de memória. Para minimizar as necessidades de espaço e armazenamento, técnicas de compressão de imagens são utilizadas. Esses algoritmos de compressão podem ser implementados tanto por hardware quanto por software, sendo que os padrões de imagem abertos que hoje apresentam a melhor taxa de compressão mas mantendo uma boa definição da imagem são o Wavelet e o MPEG. Estes algoritmos permitem que imagens em formato bitmap de 1Mb de tamanho, sejam reduzidos a menos de 30 kB, em alguns casos. Neste trabalho enfatizamos o estudo destes padrões em função da baixa taxa de transmissão proporcionado pelo canal de comunicação entre a subestação desassistida e o centro de operações.

C. S. Yabiku (Engenheiro Especialista, Gerente do Projeto), trabalha na CTEEP (Companhia de Transmissão Paulista (cyabiku@ctEEP.com.br))

D. Fischer (Engenheiro Especialista), trabalha na CTEEP (Companhia de Transmissão Paulista (dfischer@ctEEP.com.br))

H. K Kiyohara (MSc, Engenheiro) trabalha no GAGTD da EPUSP/PEA (kiyohara@pea.usp.br)

L. C. Magrini (PhD, Coordenador do projeto) trabalha no GAGTD da EPUSP/PEA (magrini@pea.usp.br)

M. Masuda (Engenheiro) trabalha no GAGTD da EPUSP/PEA (massuda@pea.usp.br)

M.G. M. Jardini (Msc, Engenheiro) trabalha no GAGTD da EPUSP/PEA (mjardini@pea.usp.br)

A. Wavelet

Os Wavelets são funções matemáticas usadas para representar sinais de onda.

Semelhante ao cálculo de Fourier onde os sinais são representados em termos de senos e cossenos, o Wavelet é composto por uma forma de onda de comprimento limitado e valor médio igual a zero [8]. O Wavelet é composto por famílias de formas de ondas, dentre as quais se destacam as de Daubechies, Haar, a Mexican Hat, Moilet, Coiflets, entre outros [6] [8]. Conforme o problema que se deseja resolver escolhe-se a família de formas de onda mais adequada. Por exemplo, as formas de onda de Daubechies são usadas para estudo de sinais polinomiais, enquanto Mexican Hat é usado para tratamento de imagens e Haar, por ser a mais simples (formato em degrau), é usado para fins educacionais [6].

Entre as suas vantagens estão:

- sinais não-periódicos são melhor analisados em Wavelet do que pelos métodos Fourier (transformada rápida e discreta);
- pequenas variações de sinal são mais evidenciadas, tornando-o uma ferramenta útil em estudos preditivos.
- Os sinais podem ser analisados em diferentes faixas de tempo, conforme os níveis de descontinuidades em cada faixa, o que otimiza a compressão do sinal.

No tratamento de imagens, o método comumente adotado é o de se analisar primeiro a imagem em linhas e depois em colunas. Este método facilita a sua compressão e permite que seja convertido novamente na imagem original sem perda da qualidade. Na figura 1 é apresentada a decomposição de uma imagem através das componentes horizontal e vertical em Wavelet [8].

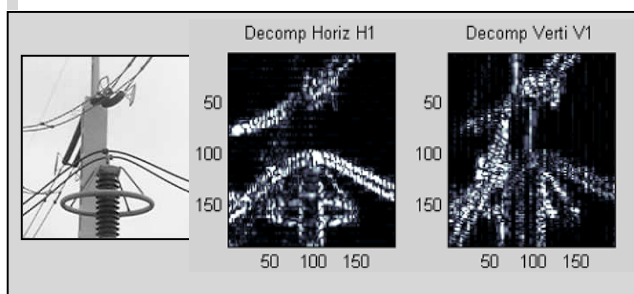


Figura 1 – Análise Wavelet de imagem bidimensional

Dentre as aplicações do Wavelet estão a compressão de imagem e sinais, a redução de ruídos, a previsão de terremotos, reconhecimento da fala, uso em radares, etc. [6].

B. MPEG

MPEG (Moving Picture Experts Group ou Grupo Especialista de Imagens em Movimento) é um padrão aberto desenvolvido pela ISO/IEC, organismos internacionais de padrões.

No MPEG, o vídeo não é formado por uma seqüência de quadros. De forma a reduzir o consumo de memória são utilizados 'inter-quadros' que informam as variações ocorridas de imagem ao longo do tempo. Este processo é chamado de 'codificação inter-quadros' [11].

Outra vantagem neste padrão é a capacidade de unir vídeo, áudio e outros tipos de dados em um único pacote e executá-los de forma simultânea e sincronizada sem erros. Este processo é chamado de multiplexação. No MPEG é possível multiplexar 32 sinais de áudio e 16 de vídeo simultaneamente. [11].

O MPEG utiliza quatro tipos distintos de codificação de imagem:

- intra-código (I) – codificação apenas da própria imagem;
- preditivo (P) – imagem codificada a partir de I passado ou P através de um processo chamado 'predição de movimento compensado'.
- bidirecional preditivo (B) – utiliza o mesmo processo de P, considerando o passado e/ou futuro de I ou P.
- Cosseno direto (D) – codificação que utiliza o método de cosseno direto. Este método, quando utilizado, melhora o desempenho do vídeo.

O MPEG utiliza também o método de compressão de Huffman (chamado também de código mínimo) e o padrão de codificação de cores YCrCb.

III. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO TCP/IP

Os protocolos TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) surgiram com o desenvolvimento da internet, um sistema de interligação de redes a nível mundial, tornando possível o tráfego e a comunicação entre diferentes tipos de computadores através de diferentes meios (conexão telefônica, fibra ótica, satélite). Na figura 2 pode ser vista a estrutura da arquitetura TCP/IP segundo o padrão OSI/ISO, definida através de 4 camadas [9], que são:

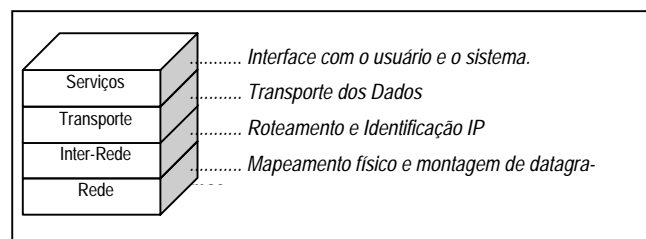


Figura 2 – Arquitetura TCP/IP

- Camada de rede – é a camada que faz o mapeamento da rede física. Ela converte os dados em pacotes ou datagramas, que serão posteriormente enviados pela camada de Inter-Rede. Numa rede Ethernet, por exemplo, cada computador possui um único endereço físico, que permite a troca de mensagens entre computadores. Esta rede é chamada de rede local de computadores.
- Camada de inter-rede – nesta camada há a identificação lógica do computador através do seu endereço IP.

Ela faz também o roteamento dos dados, definindo o caminho que os dados devem seguir entre as redes até o seu destino, o que reduz o problema de tráfego dos dados. O roteamento e a identificação lógica (IP) permitem que os dados trafeguem através de diferentes arquiteturas físicas.

- iii) Camada de transporte – gerencia o fluxo dos dados, faz o controle de erros e falhas, a sequenciação e a multiplexação no envio dos pacotes. Faz parte desta camada o protocolo TCP e UDP (user datagram protocol).
- iv) Camada de serviços – faz a camada de interface entre a rede e o usuário, fornecendo serviços de comunicação com a rede. Alguns protocolos conhecidos são: ftp, http, telnet, dns, etc.

Em subestações desassistidas, onde se espera que este projeto tenha maior uso, a taxa de transmissão de dados é bastante baixa, chegando a 9,6 kbps. Naturalmente, o tráfego de imagens e de comandos para movimentação pan-tilt-zoom da câmera fica então bastante prejudicado. Assim, optou-se por utilizar a arquitetura TCP/IP na transmissão de imagens e dados da subestação desassistida até o operador.

IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.

A. Avaliação dos Sistemas Comerciais

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento, foi feita uma ampla pesquisa de mercado analisando a tecnologia hoje disponível na área de segurança patrimonial, por ser esta a área que se utiliza mais intensamente dos recursos de visualização de imagens por câmeras, bem como da conversão do sinal analógico das imagens em sinal digital e da compressão de imagens de vídeo. As soluções fornecidas pelas empresas foram analisadas segundo as necessidades do projeto e podem ser vistas na Tabelas 1 (para os produtos Gerenciadores) e 2 (para as câmeras). Algumas das dificuldades encontradas foram:

- i) gravação das imagens de vídeo em formato proprietário (Imagem FP) ao invés de aberto (Imagem FA), como MPEG, wavelet, entre outros;
- ii) equipamentos de gravação. Existem os Integrados (GI), que são gravadores que já possuem o HD embutido e onde a conversão digital e compressão das imagens de vídeo é feita por hardware, e as Placas de Vídeo (PV), que são colocadas no PC e utilizam o HD do computador. Neste caso a compressão das imagens é feita por software. No primeiro, há restrições quanto ao acesso às imagens de vídeo, enquanto que no segundo, por estar acoplado a um PC, há a possibilidade de se desenvolver programas para acessar as imagens de vídeo gravadas pelo gerenciador.
- iii) Softwares fechados (SF) que não permitem desenvolver funções ao sistema. Uma das razões apontadas é a de garantir a integridade das imagens para uso legal.

Tabela 1 – Análise dos gerenciadores

| Gerenciador | Vantagens | Desvantagens |
|-------------|--------------------------------------|--------------------|
| Geovision | PC e Imagem FA | SF |
| Phillips | Compressão de vídeo maior que 100:1. | SF, Imagem FP e GP |
| Panasonic | Imagem FA | SF, Imagem FP e GP |
| Cosmos | PC e Compressão maior que 50:1 | SF, Imagem FP |
| Sensormatic | PC | SF, Imagem FP |
| Miran | PC | SF, Imagem FP |
| Deggy | PC | SF |

Tabela 2 – Análise das câmeras

| Produto | Características |
|------------------|--|
| Pelco Esprit | BR, DN, CL, PTZ, LF, PP, Tilt Positivo, CG, FA |
| Pelco Dome | BR, DN, CL, PTZ, LF, PP, CG, FA |
| Panasonic Dome | BR, DN, CL, PTZ, LF, CG, FA |
| Panasonic Fixa | BR, DN, CL, CF, LF, |
| Phillips Dome | BR, DN, CL, PTZ, LF, PP, CG, FA |
| Phillips Fixa | BR, DN, CL, CF, LF, CG |
| Sensormatic Dome | BR, DN, CL, PTZ, PP, CG, FA |
| Miran Dome | BR, DN, CL, PTZ, LF, PP, CG, FA |
| Miran Fixa | BR, DN, CL, CF, CG |
| Deggy Dome | BR, DN, CL, PTZ, PP, CG |
| Deggy Fixa | BR, DN, CL, CF, LF, CG |

Nomenclatura: Bom Nível de Resolução (BR) / Uso dia/noite (DN) / Colorida, sendo Preto e Branco durante a noite (CL) / Câmera Fixa (CF) / Câmera com movimentação pan, tilt e zoom (PTZ) / Compensação de Luz de Fundo (LF) / Programação de Presets - para câmeras com PTZ (PP) / Controle Automático de Ganho (CG) / Foco Automático (FA)

Ao final o gerenciador que melhor atendeu às necessidades do projeto foi o Geovision e a câmera escolhida foi a Pelco Esprit.

B. Especificação do Sistema

O projeto foi desenvolvido visando ao funcionamento contínuo do sistema, adequado a subestações desassistidas. No caso dos equipamentos mantidos em campo (a câmera e transceiver) era importante que fossem resistentes às diferentes condições climáticas e que mantivessem a qualidade das imagens para qualquer condição de luminosidade.

O protótipo do sistema de monitoramento desenvolvido pode ser dividido em 4 partes principais:

- i- *Aquisição de imagens* – formada pela câmera, deve apresentar proteção contra variações climáticas, dado o seu uso em ambiente externo. Deve ser do tipo CCD (Charged Coupled Device) por apresentar melhor qualidade, sensibilidade a variações de luz e menor interferência a ruídos em relação às câmeras tradicionais do tipo CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Outro recurso disponível na câ-

mera é chamado de pan-tilt-zoom (PTZ) que permite a movimentação e o zoom da câmera. Foi escolhida uma câmera do tipo Esprit, que possibilita executar movimentos de 360° na horizontal e de 130° na vertical. Bem posicionada, o recurso PTZ é bastante útil para grandes ambientes, como é o caso de uma subestação.

- ii- *Gerenciador Local da câmera* – as imagens oriundas da câmera devem ser convertidas em formato digital e armazenadas. Utilizou-se um sistema comercial de vigilância patrimonial devido aos recursos de controle da câmera, conexão de alarme e controle de compressão das imagens armazenadas. O armazenamento de imagens em formato aberto foi um fator essencial na definição do produto.
- iii- *Transmissão das imagens e dados* – as operações nos equipamentos de alta tensão que existem dentro da subestação geram interferências que prejudicam a qualidade das imagens. Como a câmera deve estar próximo aos equipamentos e o gerenciador em um local abrigado, eles estarão distantes entre si, e portanto sujeitos a estas interferências. Para garantir a qualidade do sinal são instalados transceivers que irão converter o sinal elétrico em sinal luminoso, e este sinal será transmitido através de um cabo de fibra ótica. Por ser imune a interferências elétricas ele pode ser passado através das canaletas que existem no páteo da subestação.
- iv- *Gerenciador Remoto* - o gerenciador remoto irá receber apenas as imagens e os dados mais importantes enviados pelo Gerenciador Local devido a baixa taxa de transmissão. O Gerenciador Remoto deve ser capaz também de executar operações pré-determinadas no gerenciador local.

O diagrama indicando a estrutura do sistema pode ser visto na figura 3.

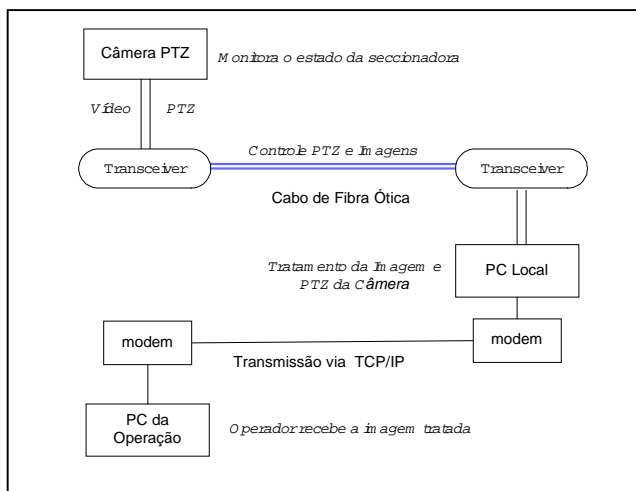


Figura 3 Estrutura do sistema de monitoramento

C. Análise das Imagens

O vídeo com as imagens das chaves seccionadoras vindas da câmera são convertidas em meio digital e armazenadas no PC Local pelo gerenciador. Quando ocorre a abertura da chave seccionadora que está sendo monitorada, o protótipo irá separar uma das imagens do vídeo e enviá-la via TCP/IP à operação.

V. CONCLUSÕES

O projeto continua em andamento na subestação de Bom Jardim na CTEEP e no GAGTD na USP. O protótipo está sendo desenvolvido em laboratório na USP, e em breve está prevista sua implantação definitiva na subestação. Testes de movimentação da câmera, zoom, armazenamento de imagens e qualidade e formato das imagens estão sendo analisados. Na subestação já está montada a infra-estrutura necessárias ao projeto (pontos de alimentação, colocação dos cabos de fibra ótica, os transceivers, a caixa de proteção dos equipamentos que ficarão sujeitos a intempéries, a instalação de modems locais).

O foco principal de monitoramento são chaves seccionadoras que operam quando há a transferência de carga entre as barras I e II da subestação. Além disso, há também a preocupação quanto ao desempenho da comunicação via TCP/IP do ponto local e o centro de operações. A expectativa de conclusão do projeto é para agosto de 2003.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

- [1] Kaneda, K., Nakamae et al., *An Unmanned Watching System Using Video Cameras*, IEEE Computer Applications in Power, April 1990, pg 20 ~ 24.
- [2] Thiel, G., *Automatic CCTV Surveillance – Towards the VIRTUAL GUARD*, IEEE AES Systems magazine, July 2000.
- [3] Stubbington, B, Keenan, P., *Intelligent Scene Monitoring; Technical Aspects and Practical Experiences*, IEEE, 1995, pg 364 ~ 375.
- [4] Kami, H, Kurashige, T and al., *A NETWORK MPEG CAMERA*, IEEE, 1999, pg 82 ~ 83.
- [5] Greiffenhagen, M, Comaniciu, D. et al., *Design, Analysis, and Engineering of Video Monitoring Systems: An Approach and a Case Study*", Proceedings of the IEEE, vol. 89, no. 10, October 2001.
- [6] Graps, A, *An Introduction to Wavelets*, IEEE, Computational Science and Engineering, Summer 1995, vol2, num2.
- [7] Chan, T.M., Pang, S.L. and al., "Intelligent Power Substations – Monitoring Through Computerised Imaging", APSCOM-97, November 1997, pg 321 ~ 326.
- [8] Hsiao, P., Kung, H.T. and Tan, K., *Video over TCP with Receiver-based Delay Control*, NOSSDAV 2001, June 2001, pp. 199 ~ 208.

Livros:

- [9] Mathworks, *MATLAB Image Processing Toolbox*, manual 1998.
- [10] M. Misi, Y. Misi and al, *Wavelet toolbox :for use with Matlab*, The Mathworks Inc, 1996.
- [11] J. Casad and B. Willsey, *Aprenda TCP/IP em 24 horas*, Editora Campus, 1999, 380 pg.
- [12] C. A. Lindley, *Practical Image Processing in C*, John Wiley & Sons, 1991, 554 pg.
- [13] C. W. Brown and B. J. Shepherd, *Graphics File Formats / Reference and Guide*, Manning Greenwich, 1995, 472 pg.

VII. BIOGRAFIA

Celávoro Shigemoro Yabiku nascido em Passaquatro, MG, Brasil, em 15 de Agosto de 1949. Graduado pela Faculdade de Engenharia Industrial em 1976 como Engenheiro Eletrônico/Eletricista. Trabalhou como Engenheiro Elétrico na CTEEP (Companhia de Transmissão Paulista) em projetos na área de Telecomunicações e Supervisão. Atualmente trabalha como Engenheiro Especialista na CTEEP na área de Sistemas de Supervisão e Automação.

Daniel Fischer nascido São Roque, SP, Brasil, em 21 de Agosto de 1956. Graduado pela Faculdade de Engenharia de Sorocaba como Tecnólogo em Processos de Produção em 81 e Projetos Mecânicos em 83 e como Engenheiro Eletrônico em 1995. Trabalhou nas empresas Andrew Antenas Ltda e na Moto Peças S.A. como projetista e na KMP Pirelli como projetista / encarregado de projetos. Desde 1995 trabalha na CTEEP, onde ocupa atualmente o cargo de Engenheiro Especialista na área de Sistemas de Supervisão e Automação.

Humberto Katsuo Kiyohara, nascido em São Paulo, SP, Brasil, em 22 de janeiro de 1971. Graduado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1995 (Engenharia Elétrica com ênfase em Energia e Automação). Recebeu pela mesma instituição título de MSc em 1999. Atualmente trabalha como Engenheiro pesquisador no GAGTD (Grupo da Automação da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica) do PEA (Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas) da EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

Luiz Carlos Magrini nascido em São Paulo, Brasil, 3 de maio de 1954. Graduado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1977 (Engenharia Elétrica). Recebeu pela mesma instituição o título de MSc e PhD em 1995 e 1999, respectivamente. Trabalhou por 17 anos na Empresa Themag Engenharia Ltda. Atualmente, além de Professor de Universidades faz parte, como pesquisador/ coordenador de Projetos, do Grupo GAGTD na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Mauricio George Miguel Jardim, nascido em São Paulo, Brasil, 18 de outubro 1971. Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola da Engenharia Mauá em 1995. MSc na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1998, onde fez exame e realiza o curso de PhD. Pós graduado pela Fundação Vanzolini da Universidade de São Paulo em Administração Industrial, 2001. Trabalhou em Projetos de Plataformas de Petróleo e Petroquímicas no departamento de engenharia da empresa SETAL Engenharia. Trabalha atualmente no GAGTD (Grupo da Automação da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica) do PEA (Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas) da EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

Mario Masuda, nascido a 25 de junho de 1948 em Tupã, São Paulo, Brasil. Formado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)

em 1973. Trabalhou de 1973 a 91 na Themag Eng. Ltda atuando na área de estudos de sistemas de potência e estudos e projetos de linhas. Trabalhou de 1991 a 1997 como autônomo executando projetos, supervisionando e ministrando curso de instalação de cabos de fibras ópticas em Linhas de Transmissão (OPGW). De 1997 a 2002 trabalhou na Furukawa Empreendimentos e Construções Ltda em projetos, supervisão e instalação de cabos de fibras ópticas em linhas de transmissão (OPGW). Atualmente trabalha como pesquisador pelo grupo GAGTD na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.