

METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE LABORATÓRIOS REMOTOS VIA INTERNET NA ÁREA DE AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Grupo de Automação e Controle (GRACO), CEP 70910-900, Brasília, DF, alvares@AlvaresTech.com.

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA-GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, jcf@grucon.ufsc.br.

Resumo. *Este artigo descreve uma metodologia para implantação de laboratórios controlados via Internet num contexto de Ensino a Distância para o desenvolvimento de experimentos remotos na área de automação da manufatura e robótica. O ensino de Engenharia na área de Automação Industrial, em especial em Automação da Manufatura e Robótica, deve combinar necessariamente teoria e prática. Estudantes devem obter conhecimento e desenvolver habilidades que requerem o uso intensivo de laboratórios que consistem de equipamentos de grande porte como: máquinas-ferramenta com comando numérico, robôs industriais, robôs móveis, sistemas CAD/CAE/CAM, redes e protocolos de comunicação, células flexíveis de manufatura, entre outros. Estes sistemas são caros e nem sempre estão disponíveis nos laboratórios das universidades e escolas técnicas brasileiras. Experimentos interativos em plantas/sistemas reais motivam os estudantes e também desenvolvem uma abordagem de resolução de problemas reais de Engenharia. Desta forma o ensino na área de Automação da Manufatura e Robótica e de muitas outras áreas das Engenharias requer, obrigatoriamente, atividades de laboratório que deverão ser executadas/ministradas de forma presencial ou sob a óptica do Ensino a Distância (EAD) através de mecanismos e metodologias que viabilizem a sua execução de forma remota, e para isto é fundamental a disponibilidade de laboratórios que permitam a realização de experimentos remotos.*

Palavras-chave: *Ensino a Distância, Internet, Manufatura, Laboratório Remoto, Mecatrônica.*

1. INTRODUÇÃO

Muitos cursos da engenharia, incluindo cursos de Controle e Automação da Manufatura, normalmente usam a Web para demonstrações de softwares, tutoriais e gerência básica do curso. Entretanto, a necessidade de aulas práticas em laboratório está levando ao desenvolvimento de duas modalidades de uso da Web na área de Ensino a Distância (EAD): Laboratórios Virtuais e Laboratórios Remotos. Este uso da Web voltado ao ensino pode também ser voltado para gestão e controle da produção usando a mesma metodologia em especial nos chamados Laboratórios Remotos que também podem ser designados de Plantas Industriais Remotas em um contexto de Telemanufatura e Manufatura Virtual (Álvares, 2002).

Este artigo apresenta uma metodologia para implantação de laboratórios controlados via Internet num contexto de Ensino a Distância para o desenvolvimento de experimentos remotos na área de automação da manufatura e robótica.

O ensino de Engenharia na área de Automação Industrial, em especial em Automação da Manufatura e Robótica, deve combinar necessariamente teoria e prática. Estudantes devem obter conhecimento e desenvolver habilidades que requerem o uso intensivo de laboratórios que consistem de equipamentos de grande porte como: máquinas-ferramenta com comando numérico, robôs industriais, robôs móveis, sistemas CAD/CAE/CAM (Projeto, Engenharia e Manufatura Auxiliados por Computador), redes e protocolos de comunicação, células flexíveis de manufatura, entre outros. Estes sistemas são caros e nem sempre estão disponíveis nos laboratórios das universidades e escolas técnicas brasileiras.

Experimentos interativos em plantas/sistemas reais motivam os estudantes e também desenvolvem uma abordagem de resolução de problemas reais de Engenharia. Desta forma o ensino na área de Automação da Manufatura e Robótica e de muitas outras áreas das Engenharias requer, obrigatoriamente, atividades de laboratório que deverão ser executadas/ministradas de forma presencial ou sob a óptica do Ensino a

Distância (EAD) através de mecanismos e metodologias que viabilizem a sua execução de forma remota, e para isto é fundamental a disponibilidade de laboratórios que permitam a realização de experimentos remotos.

A metodologia apresentada neste trabalho e a sua implementação em algumas plantas piloto permite que os estudantes tenham acesso aos sistemas remotamente através da Internet e realizem os experimentos desejados. Com esta abordagem é possível que várias universidades que já possuem algum laboratório específico na área compartilhem o mesmo com outras universidades e estas com as demais, formando assim uma rede de laboratórios integrados e compartilhados, minimizando os custos e maximizando seus recursos através da formação de um "Cluster de Universidades" com seus laboratórios na área de automação industrial integrados.

Inicialmente, participam deste projeto piloto a Universidade de Brasília através do GRACO - Grupo de Automação e Controle (<http://www.graco.unb.br>) e a Universidade Federal de Santa Catarina através do GRUCON/GRIMA - Grupo de Integração da Manufatura (<http://www.grima.ufsc.br>). Com a experimentação em laboratórios remotos, um determinado equipamento poderá ser compartilhado entre diferentes Universidades. Devido a este fato, uma grande gama de recursos de laboratórios podem ser disponibilizados, aumentando-se a variedade de experimentos e equipamentos a serem utilizados pelos estudantes num contexto de EAD com enfoque em aulas práticas remotas.

2. TAXONOMIA: LABORATÓRIOS VIRTUAIS E REMOTOS

As demonstrações por meio de software de conceitos abstratos podem ser muito benéficas para a compreensão dos usuários em um determinado assunto. Por exemplo, o índice da frequência em um sinal no domínio do tempo pode ser ilustrado eficazmente usando uma aproximação através de multimídia interativa. Os estudantes mudam a amplitude dos componentes nos espectros da frequência e vêem a forma de onda do sinal resultante no tempo ao escutar um sinal de áudio correspondente. Estes tipos de *demos* podem ser usados em sala pelo instrutor ou serem vistos individualmente pelos estudantes.

Antes da Web, tais *demos* eram desenvolvidos isoladamente em diversas instituições de ensino usando os pacotes de softwares comerciais disponíveis ou mesmo gratuitos. *Demos* podem ser passivos ou interativos. Os *demos* interativos podem ser classificados em duas categorias: aqueles que necessitam de download para a execução do software executando na máquina local, e aqueles que funcionam diretamente na Web usando Java Applets.

Os laboratórios virtuais são simulações de dispositivos físicos por meio de software (Álvares, 2002). Estes podem ser considerados *demos* interativos sofisticados. Os laboratórios virtuais podem ser uma bancada de testes de um sistema visando elaborar métodos para o seu controle, ou mesmo a simulação de um sistema de manufatura baseado em Teoria de Filas. Se a simulação for muito detalhada, pode ser um bom substituto para um laboratório real, especialmente se acompanhado de animação. Os laboratórios virtuais acessíveis através da Internet/Intranet estão se transformando em uma maneira popular para reduzir custos de equipamento e disponibilizar conceitos através do laboratório em cursos de EAD. Estes tipos de laboratórios usam geralmente softwares comerciais como: LabView, MATLAB, Arena, AutoMod, Sistemas CAD/CAM, entre outros. Por exemplo, o laboratório virtual para ensino de Processamento de Sinais da Universidade de Carnegie Mellon (Stonick, 1993) e o laboratório CAD/CAM desenvolvido em Java (Smith e Wright, 2002) pela Universidade de Berkeley (<http://cybercut.berkeley.edu>) são utilizados em Ensino a Distância (EAD) em algumas disciplinas dos cursos de Graduação e Pós-Graduação destas Universidades.

Conceitualmente, usar um browser como interface para o laboratório virtual tem muitas vantagens em conexões Intranet e/ou Internet. É uma plataforma independente e fácil de usar e o software adicional necessário no lado do cliente (usuário remoto) é mínimo. Entretanto, a conexão Web fornece alguns desafios também: necessita-se de meios para que o estudante incorpore os parâmetros do controle, que usem preferivelmente uma interface gráfica amigável, e de meios de simular a resposta do sistema. O código padrão do HTML não pode realizar todas estas tarefas (Álvares, 2002).

As páginas interativas da Web com indicadores gráficos para dados de entrada, parâmetros de controle, podem ser escritas usando programas em Common Gateway Interface (CGI) ou Java Applets. Os programas em CGI são os executáveis que residem no lado do servidor em um Arquitetura Cliente/Servidor, onde o browser e as aplicações em Java representam o cliente, por exemplo. Mais recentemente, Java Applets estão sendo usados como entrada de dados em aplicações para Web, ou seja, centrada em rede e distribuída. Programas na linguagem Java diferem dos programas em CGI que residem no lado do servidor; pois Java Applets são executados no lado do cliente executando o código localmente. Os programas em CGI não mantêm, geralmente, a conexão Internet persistentemente aberta, o que pode ser um impedimento em

aplicações em tempo real.

Um exemplo de laboratório virtual localiza-se na Universidade de Edimburgo (Merrick et al., 1996), o qual busca demonstrar os conceitos básicos do controle do processo. O laboratório virtual consiste de diversos experimentos de controle do processo químico. Cada "experiência" é acompanhada por uma descrição da teoria junto com uma fotografia de um dado real. Os estudantes podem introduzir parâmetros de controle e então simular o sistema em malha fechada. Os resultados são apresentados aos estudantes na forma de gráficos.

O MATLAB tem uma vantagem sobre Java pois pode executar cálculos sofisticados de uma maneira numericamente robusta. É também uma ferramenta computacional padrão na comunidade de Automação e Controle. MATLAB pode ser lançado dentro de um browser de forma similar às aplicações Realvideo e Acroread, necessitando de um plug-in adequado ao browser. Os exemplos dos laboratórios virtuais que utilizam MATLAB na máquina do cliente para finalidades de simulação são apresentados em Lee et al. (1998) e Schmid (1998).

Os laboratórios remotos permitem que experimentos reais do laboratório sejam controlados remotamente através de uma conexão Internet via Web, por exemplo. Este tipo de laboratório é bem adequado aos cursos de EAD onde os estudantes não necessitam estar fisicamente no laboratório. Os parâmetros de controle podem ser ajustados em uma página Web e enviados para o servidor que controla o experimento. Os dados reais são gravados durante o experimento retornando ao usuário através da conexão Web.

Um método comum para executar o controle remoto do equipamento ou de um experimento é através de uma conexão remota via telnet (emulação de terminal) em um outro computador que esteja controlando um experimento, chamado de servidor. Entretanto, Uma desvantagem deste método é a necessidade de uma conta no servidor além da ausência de uma interface gráfica, pois sendo textual ela é pouco amigável. A utilização de terminais gráficos (XFree ou Windows) requer uma maior velocidade de transmissão de dados, sendo viável apenas em Intranet e conexões Internet de alta velocidade (Álvares e Romariz, 2002). Usar a Web para a conexão Internet é melhor que o telnet, pois requer apenas um browser padrão no lado do usuário (cliente). Além disso, o browser é uma plataforma independente no lado do usuário. O uso da Web em laboratórios remotos é uma atividade relativamente recente, alguns exemplos incluem: teste automatizado de circuitos analógicos (Knight e Weerth, 1996), laboratório remoto de medições, controle de robô (Álvares, 2002), controle de processo químico (Shaheen et al., 1998) e controle de uma máquina de oxi-corte CNC (Álvares et al., 2002).

Os componentes da arquitetura de controle via Web são ilustrados na figura 1. Aqueles relacionados aos aspectos remotos são os clientes (usuário remoto) conectados através de um modem, conexão ADSL ou conexão de alta velocidade ao Servidor HTTP (Web) dedicado, que reside em um computador no local do laboratório. Os componentes relacionados diretamente ao experimento são o controlador/computador podendo ser o mesmo que o servidor Web, onde se realiza realmente o experimento, e os equipamentos associados (placas, conversor A/D, CNC, Robôs, etc.). Os laboratórios são desenvolvidos utilizando programas em C++ ou software comercial específico, tal como LabVIEW, que residem no computador local, coordenando os experimentos.

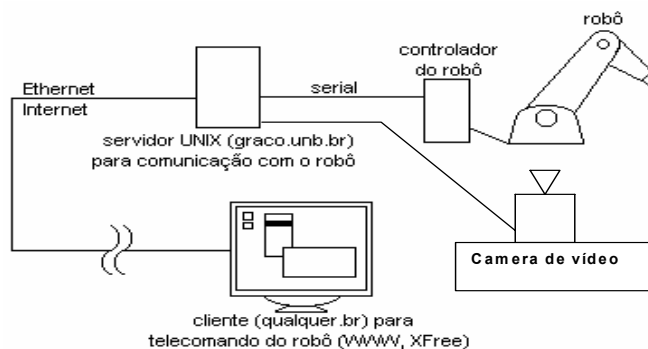


Figura 1. Arquitetura de Teleoperação de Laboratório Remotos

3. MANUFATURA REMOTA E MANUFATURA VIRTUAL

É necessário fazer uma distinção do conceito de Manufatura Remota (TeleManufatura) dos conceitos de Manufatura Virtual e Empresa Virtual que muitas vezes são confundidos e que são utilizados na implementação de laboratórios remotos e virtuais. Tanto a manufatura remota quanto a virtual devem ser

utilizadas nos laboratórios voltados para EAD.

3.1. Manufatura Remota

Segundo Malek et al. (1998) TeleManufatura ou Manufatura Remota pode ser definida como uma atividade onde uma empresa (cliente) utiliza serviços oferecidos por Centros Especializados (servidores) disponibilizados via rede de comunicação através das supervias da informação (Internet) para executar, em tempo real, operações e processos necessários para o projeto e a produção de bens. Desta forma atividades relativas à Telemanufatura estão presentes em todo o ciclo de desenvolvimento do produto, desde a concepção do produto até a sua fabricação e distribuição (Álvares, et al., 2002).

Atualmente já existem empresas com alto nível de especialização que oferecem serviços em um ambiente voltado para TeleManufatura. Estes centros especializados detêm o estado da arte na Tecnologia de Software (Sistemas CAE/CAD/CAPP/CAM/ERP entre outros), especialidades avançadas e acesso às informações atualizadas em seus campos a fim de auxiliar seus clientes no desenvolvimento de novos produtos e processos (Ahn et al., 1999 e Malek et al., 1998). Sistemas como o CyberCut da Universidade de Berkeley (<http://cybercut.berkeley.edu>) possibilitam a concepção de uma peça prismática que será usinada utilizando-se de um sistema CAD/CAPP/CAM desenvolvido em Java (Smith e Wright, 2002). Outro exemplo foi desenvolvido por Álvares et al. (2002) onde o sistema permite a teleoperação de uma máquina de Oxi-Corte CNC, bem como a geração do programa NC da peça a ser produzida utilizando um ambiente de modelagem CAD/CAM desenvolvido na linguagem Java, denominado de WebOxiCorte (<http://weboxicorte.graco.unb.br>). A empresa e-Manufacturing Networks (<http://www.e-manufacturing.com>) é uma das primeiras empresas focadas em soluções a partir de TeleManufatura baseada em Web.

Assim sistemas de Teleoperação de equipamentos industriais enquadram-se no contexto de TeleManufatura nos aspectos referentes ao controle da manufatura em operações de chão de fábrica, bem como ambientes computacionais integrados de CAD/CAPP/CAM para desenvolvimento de produto. Estes sistemas e ambientes de suporte ao desenvolvimento de produto e de teleoperação estão sendo atualmente disponibilizados através da Internet/Intranet sendo baseados nos protocolos de desenvolvimento para Web podendo ser utilizados em um contexto de EAD como plataforma de laboratórios remotos.

A metodologia proposta, implementada e testada nos seis sistemas que serão descritos apresentam como principal contribuição, uma sistematização de um modelo de desenvolvimento para a concepção de laboratórios remotos e sistemas teleoperados baseado na Web, utilizando-se de *free software* em plataforma Unix/Linux.

O ambiente de TeleManufatura é normalmente baseado em uma arquitetura Cliente/Servidor, que trabalha de forma interativa e cooperativa, solicitando e provendo serviços, bem como compartilhando recursos de forma distribuída (Álvares, 2002). Sistemas de Teleoperação voltados para aplicações em Robôs Industriais e Robôs Móveis são descritos em Álvares (2002). Em Álvares e Romariz (2002) é apresentada uma metodologia para desenvolvimento de Sistemas Teleoperados via Internet.

Revisões de literatura sobre o tema descrevendo outras abordagens e metodologias podem ser consultadas em Álvares et al. (1998, 1999, 2002) e em <http://WebMachining.AlvaresTech.com>.

3.2. Manufatura Virtual

A Manufatura Virtual pode ser definida, segundo Porto e Palma (2000), como um “ambiente de manufatura sintético e integrado, que utiliza todos os níveis de decisão e controle no projeto de produto e processo, planejamento de processo, planejamento de produção e controle de chão de fábrica, onde:

- ✓ Ambiente: é o suporte para a construção e uso da simulação da manufatura distribuída, pela sinergia provida de uma coleção de ferramentas de análise, de simulação, de implementação, de controle, modelos (produto, processo, recurso), equipamentos, metodologias e princípios organizacionais.
- ✓ Sintético: uma mistura do real com objetos, atividades e processos simulados.
- ✓ Exercido: executar a simulação da manufatura utilizando o ambiente.
- ✓ Melhorar: aumentar o valor, precisão e validade.
- ✓ Níveis: do conceito do produto à sua disponibilização, do chão de fábrica à comitiva executiva, do equipamento de fábrica ao empreendimento e além da transformação de material à transformação de conhecimento.
- ✓ Controle: predizer os efeitos reais”.

4. METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE LABORATÓRIOS REMOTOS VIA WEB

A Internet possui uma grande facilidade de criação de ambientes gráficos, o que facilita a interface com o

usuário, além de possuir um baixo custo em relação ao equipamento teleoperado. Sendo uma rede de comunicação é possível enviar e receber informações, que podem ser comandos para serem executados em algum dispositivo ligado à rede. Esse dispositivo pode ser um sistema robótico ou uma máquina-ferramenta CNC. Uma das características mais importantes sobre o funcionamento de uma rede é a taxa de transmissão. Como normalmente os comandos transmitidos não exigem uma grande taxa de transmissão, isto não se torna um empecilho à implementação de sistemas telerobóticos operados via Internet.

Outro aspecto importante é a possibilidade da teleoperação ser executada a partir de qualquer local conectado à Internet a um custo insignificante, o que se apresenta como uma solução bastante interessante (Álvares et al., 1999 e 2000). A teleoperação baseada na Internet pode ser realizada através de várias metodologias (Álvares et al., 1999, 2000, 2001 e 2002) a partir de uma arquitetura cliente/servidor. Dentre as quais se destacam:

- ✓ Acesso Remoto via "Telnet": Uma forma de se obter o acesso a um sistema teleoperado via Internet é a conexão direta do usuário via interface telnet ou ssh (textual), amplamente disponível em ambientes de rede. A simplicidade de operação é perdida pelo fato de se necessitar de contas de usuários nas máquinas servidoras, o que é inviável dentro de um sistema de ampla abrangência, e ser mais susceptível a falhas de segurança.
- ✓ Programação CGI, Common Gateway Interface, com simples páginas html: A programação CGI com base em páginas HTML ("Hiper Text Markup Language") é a abordagem mais utilizada no momento para o controle de sistemas através da Internet, baseada na interface WWW ("World Wide Web"). A sua desvantagem é a limitação de interatividade com o usuário, e pelo fato de sobrecarregar o servidor. Uma alternativa é a utilização da abordagem JavaServlets onde é necessário a instalação de um servidor JavaServlets (TomCat, por exemplo) trabalhando em conjunto com o Servidor HTTP (Apache, por exemplo).
- ✓ Cliente Java utilizando servidores genéricos HTTP (Apache) e servidores específicos via Sockets: A linguagem de programação Java, através de aplicativos applets, atualmente são a forma mais comum de programação para a Internet. Suas vantagens incluem a interatividade com o usuário, a fácil programação e a sua natureza voltada para a Internet. Sua desvantagem principal é a velocidade de operação, além do tempo para inicialização dos applets. O sistema de teleoperação do lado do servidor pode ser baseado integralmente em uma solução através do servidor WWW (servidor httpd) permitindo ao cliente ações de comando via CGI ou mesmo de Servlets. Neste sistema não é necessário o desenvolvimento do servidor apenas dos programas que permitirão o controle do equipamento, normalmente desenvolvidos em linguagem C ou Perl no caso de CGI e Java, no caso de Servlets. Em Java é necessário a instalação de outras APIs além do JDK padrão para ter acesso a interface serial do servidor, por exemplo. Utilizando-se de servidores específicos, orientados a conexão via sockets, é necessário desenvolver os servidores além dos programas para teleoperação do equipamento. Esta é a abordagem implementada no sistema de Teleoperação do Robô Móvel Nomad e da máquina de oxi-corte CNC desenvolvidos no Graco.

4.1. Sistemas Teleoperados Via Internet

Sistemas teleoperados remotamente necessitam de dados e/ou imagens do objeto de controle, bem como da transmissão de comandos através de um link de comunicação, que neste caso é baseado em conexão via Rede de Comunicação (Wolf et al., 1997), através do Protocolo Internet (IP). A metodologia proposta, implementada e testada para TeleRobótica utilizando a Internet como link de comunicação é baseada na Arquitetura Cliente/Servidor utilizando o Protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) através de um Servidor WWW convencional (CERN, NCSA ou APACHE) que disponibiliza uma interface multimídia. Esta pode ser acessada através de um Cliente WWW (browser) como o Netscape ou Internet Explorer. A arquitetura proposta do sistema é apresentada na figura 2.

O Servidor HTTP (WWW) deve, preferencialmente, ser baseado em plataforma Unix o que possibilita maior robustez, flexibilidade, modularidade e até mesmo a necessidade de máquinas com menor capacidade de processamento, quando comparado ao ambiente Windows NT e 2000. O Sistema Operacional Linux em plataforma PC (Personal Computer) é uma opção extremamente atraente satisfazendo todos os requisitos das aplicações de tele-serviços para teleoperação de Robôs e máquinas de comando numérico. Neste contexto, o Servidor HTTP deve disponibilizar dois tipos de serviços básicos, que estão representados na figura através de dois módulos (fig. 2): WebCam: Visualização do objeto teleoperado, através de vídeo e/ou imagem; e WebRobot: Disponibilização de funções de controle remoto do objeto teleoperado.

O módulo WebCam é responsável pela captura de imagens através de câmeras CCD (Charge Coupled Device) utilizando-se da tecnologia WebCam (Álvares & Romariz, 1998) ou WebVideo (Wolf &

Froitzheim, 1997). Imagens estáticas podem ser adquiridas em vários formatos como GIF (Graphics Interchanging Format) e JPEG (Joint Photographic Experts Group). O formato preferido devido à compressão de dados obtida é o JPEG. Imagens dinâmicas, no formato de vídeo digital, podem ser utilizadas com ou sem compressão de dados. Entre os padrões utilizados tem-se o MPEG (Moving Picture Experts Group), UYVY, RealVideo, M-JPEG (seqüência de imagens JPEG), CellB (Cell) e CuSee-Me, entre outros. O sistema de vídeo (placa de captura mais software) deve capturar, digitalizar e comprimir um sinal de vídeo NTSC ou PAL não modularizado (composto ou S-Video). O vídeo comprimido pode então ser armazenado em disco e/ou transmitido via rede para o cliente em um determinado padrão de compressão.

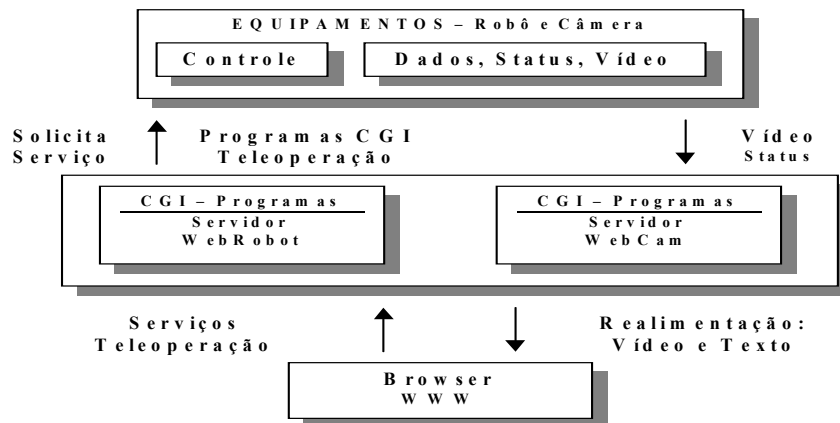


Figura 2. Arquitetura de Teleoperação de Laboratório Remotos

O módulo WebRobot necessita que o sistema Robótico tenha como pré-requisito alguma capacidade de comunicação remota utilizando um protocolo de comunicação aberto através de uma interface serial, paralela ou mesmo de uma Ethernet, permitindo a conexão a um Microcomputador ou a uma Workstation. Utilizando-se desta capacidade é possível que qualquer equipamento industrial possa ser teleoperado via Internet. A partir desta abordagem, disponibiliza-se um Servidor Robótico, denominado WebRobot, conectado ao equipamento industrial através da interface de comunicação do equipamento. Este servidor pode ser um servidor HTTP, de forma similar ao descrito para o WebCam. O mecanismo de acesso às funções do objeto teleoperado é também baseado em programas CGI e HTML. Para cada função disponibilizada pelo protocolo de comunicação do Robô existe um programa CGI que é acessado no servidor WebRobot pelo cliente utilizando um browser WWW. Pode-se utilizar o mesmo equipamento para disponibilizar os dois serviços: WebCam e WebRobot.

Por outro lado, pode-se também utilizar dois ou mais servidores para realizar as funções de WebCam e WebRobot. Uma segunda abordagem é utilizar um único Servidor WWW conectado a um ou mais PC servidores via sockets TCP/IP. Estes PC servidores não são necessariamente servidores WWW. São servidores específicos para controle do Robô e para captura de imagem, sendo que todo o tratamento das informações obtidas é realizado pelo Servidor WWW, concentrando todas as ações.

4.2. Restrições do Protocolo Internet - TCP/IP

A Rede de Comunicação Internet apresenta uma largura de banda heterogênea e com taxas de transmissão não determinísticas que podem variar de 10 kbps (ligação discada) a mais de 100 Mbps em rede local (Fast Ethernet), dependendo da conexão Internet e do tráfego. Tendo limitação de largura de banda, aplicações em tempo real para captura de vídeo apresentam sérias restrições. Para vencer estas restrições é necessário utilizar compressão de dados e conexão de grande velocidade à Internet. Taxas típicas de transmissão de vídeo com compressão necessitam de 20 Kbps (RealVideo), e sem compressão, de 100 Kbps (seqüência de imagens JPEG) com 5 quadros/s (Melchioris, 1996). Outra limitação é o delay (atraso) inerente ao protocolo TCP/IP, o que não é desejável para aplicações em tempo real. Esta restrição pode ser resolvida adicionando algum grau de autonomia para a aplicação, no caso um Robô, de tal forma a contornar situações de emergência, bem como, situações perigosas. Recomenda-se, sempre que possível, que o sistema de teleoperação seja concebido para trabalhar em uma arquitetura baseada no controle supervisor, ou seja, as ações de controle são executadas localmente. Assim este nível de autonomia é obtido localmente no Servidor WebRobot, que deve monitorar estas condições limites (Hirzinger et al., 1997). Apesar dos datagramas com informações de controle enviados para o Robô pelo cliente via Protocolo TCP/IP serem pequenos, da ordem de 2 a 3 Kbytes, o Protocolo TCP não garante aplicações em tempo real.

4.3. Interface com o Usuário

A interface gráfica com o usuário (GUI - Graphical User Interface) deve ser baseada nas linguagens de programação HTML, JavaScript e Java. A utilização de Java permite uma independência de arquitetura de hardware, pois o applet escrito em Java (aplicação Java) pode ser executado em qualquer plataforma com um browser WWW que tenha suporte para esta linguagem. O programa em Java/HTML permite que o cliente tenha uma interface amigável com o sistema de teleoperação aceitando comandos e disparando os programas CGI necessários para executar as funções disponibilizadas e apresentando as informações necessárias para o usuário, que são recebidas pelo servidor.

5. APLICAÇÕES DESENVOLVIDAS

São apresentadas seis aplicações desenvolvidas no Graco utilizando esta metodologia: RobWebCam (fig. 3) e RobWebLink (fig. 3), Robô Móvel MRL 1.0 (fig. 4), teleoperação do robô Nomad XR4000 (fig. 4), teleoperação da máquina de Oxi-corte White Martins (fig. 5) e o sistema WebCAPP Variante (fig. 5), o que possibilitou a validação da metodologia.

5.1. Sistema RobWebCam (<http://www.graco.unb.br/robwebcam>)

O Sistema RobWebCam é constituído por um manipulador com 2 graus-de-liberdade (GDL), que suporta uma câmera de vídeo, sendo acionado por motores de passo. Estes motores são controlados através de uma placa de circuito impresso, que contém o driver de potência e o módulo de alimentação elétrica do equipamento. A placa comunica-se com o servidor do manipulador (WebRobot) através da interface paralela. Este servidor, WebRobot, contém os programas de controle. A câmera (SunVideo) possui alimentação própria de energia e é interligada ao servidor WebCam através de um cabo de sinal de vídeo conectado na placa de captura de vídeo do Servidor. No Servidor WebCam estão alocados o driver (programa em CGI) para receber as imagens e as páginas WWW utilizadas para teleoperar o sistema. O cliente, via browser (fig. 3), recebe as imagens e os comandos deste servidor via Internet. Esta arquitetura é minuciosamente descrita em Álvares & Romariz (1998).

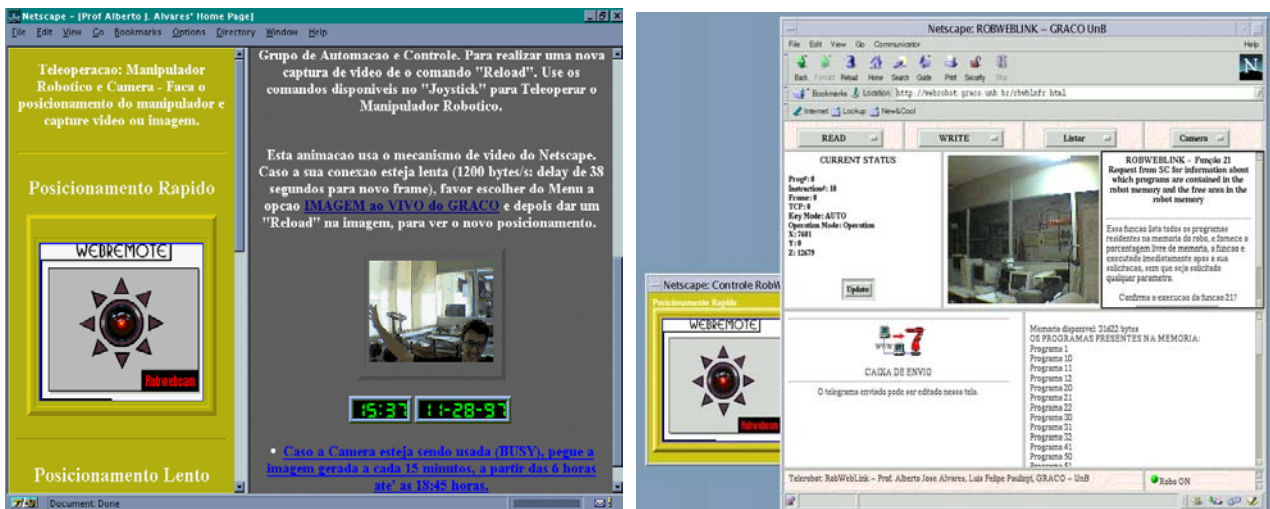


Figura 3. Sistema RobWebCam e Sistema RobWebLink, respectivamente.

5.2. Sistema RobWebLink (<http://webrobot.graco.unb.br>)

Este sistema permite o controle remoto do Robô Industrial com seis graus de liberdade IRB 2000 da ABB utilizando a Internet como via de controle. O controlador do Robô ABB IRB 2000 tem incorporado um sistema de controle remoto através da interface serial RS-232 baseado em 42 funções, que se utilizam de um protocolo de comunicação proprietário. A partir desta capacidade de comunicação remota, desenvolveu-se um servidor WWW (WebRobot) conectado ao robô via interface serial, disponibilizando o controle remoto do robô, através das 42 funções, em rede de comunicação utilizando o protocolo TCP/IP. A operação de controle remoto é monitorada através de captura de imagem em tempo real, utilizando o sistema RobWebCam (Servidor WebCam), além de informações e status do Robô enviadas pelo seu controlador. O sistema de teleoperação desenvolvido está disponível no endereço (<http://webrobot.graco.unb.br>) e pode ser

operado remotamente permitindo a comunicação entre o servidor WWW e o Controlador do Robô.

A velocidade de transmissão de dados requerida para os serviços disponibilizados referentes aos comandos das funções do Robô é baixa, não comprometendo o sistema de teleoperação, apesar da latência inerente à Internet. Entretanto, esta latência faz com que a realimentação gráfica, através de vídeo on-line, seja viável quando se utiliza de velocidades de transmissão acima de 64 Kbps.

5.3. Teleoperação do Robô Móvel MRL 1.00 (<http://robomovel.graco.unb.br>)

Este sistema é um Robô Móvel Autônomo controlado remotamente via Internet utilizando o sistema operacional Linux como plataforma de controle e comunicação. A locomoção é realizada através de motores de passo, controlados por um driver de potência e programas em linguagem C. A estrutura do robô foi fabricada em alumínio, consistindo em um chassi com três níveis: o primeiro contendo motores e alimentação elétrica (baterias ou alimentação elétrica externa). O segundo abrigando uma placa mãe Pentium (responsável pelo controle do sistema) e uma placa de Rede Ethernet. O terceiro nível é constituído por um link de comunicação via rádio/Internet (Adaptador Ethernet) e uma câmera CCD (Charge Coupled Device). O controle via Internet é realizado através de uma interface Java/CGI (Common Gateway Interface) que envia os comandos do usuário para o sistema de navegação do robô (via rádio) tendo uma realimentação visual através de um sistema de captura de vídeo baseado em uma WebCam (fig. 4).

5.4. Teleoperação do Robô Nomad XR4000 (<http://nomad.graco.unb.br>)

Este sistema permite a navegação do robô móvel XR4000 da Nomadic via Internet. O sistema de teleoperação utiliza como ferramenta de comunicação de dados a linguagem de programação Java, apresentando ao usuário imagens obtidas do ambiente remoto assim como dados sensoriais do robô, permitindo o controle de movimentos do robô e da câmera embarcada no sistema (fig. 4). Devido às restrições de velocidade de comunicação as imagens capturadas são comprimidas no formato JPEG, permitindo assim um menor consumo de banda de comunicação e melhorando a apresentação das imagens ao usuário. A necessidade de um sistema seguro de controle do robô e devido aos atrasos inerentes à comunicação via Internet levaram à utilização de um sistema de controle de velocidade do robô baseado na lógica fuzzy. Este controlador é responsável pela segurança do sistema, através do monitoramento dos dados sensoriais do ambiente e do controle da velocidade do robô. Testes realizados com o sistema validaram a metodologia de teleoperação desenvolvida.

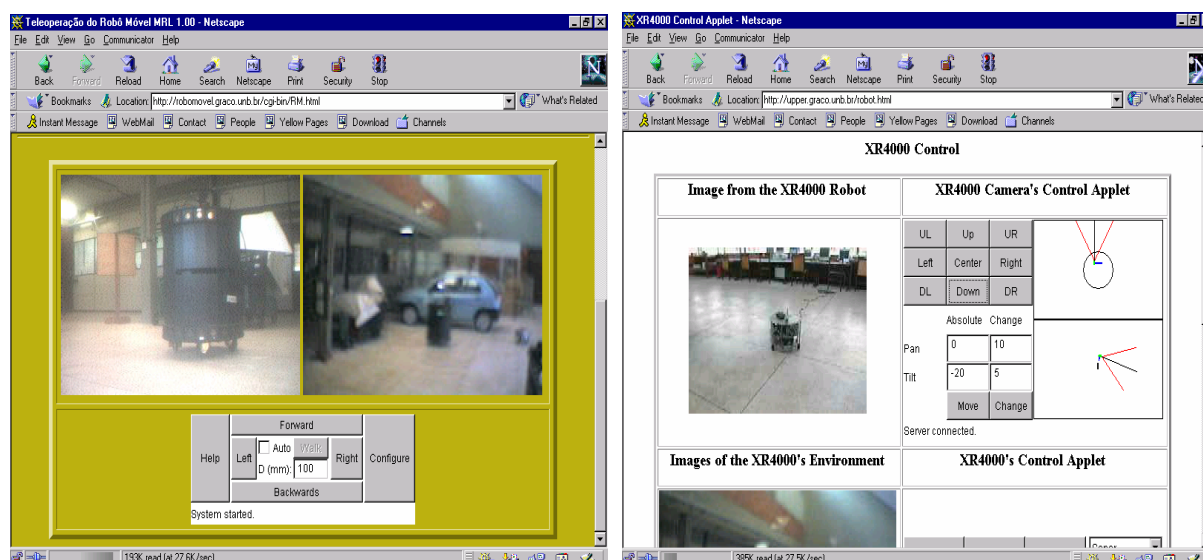


Figura 4. Teleoperação Robomóvel MRL 1.0 e do Robomóvel Nomad XR4000, respectivamente

5.5. Sistema WebOxicorte (<http://weboxicorte.graco.unb.br>)

O sistema WebOxicorte (fig. 5) disponibiliza dois ambientes integrados para TeleManufatura utilizando os Protocolos Internet (TCP/IP) via Web. O primeiro consiste em uma interface (GUI - Graphical User Interface) para teleoperação de uma Máquina de Oxi-corte Industrial da White Martins (AutoCut 2.5L) com Comando Numérico Computadorizado da MCS Engenharia (MCS-520). O segundo é um ambiente integrado CAD/CAM para programação da máquina de oxi-corte.

As GUIs disponibilizam ao usuário remoto funções para o controle da máquina, bem como, um ambiente

CAD/CAM para geração do código G baseado no padrão RS 274. O sistema baseia-se na arquitetura cliente-servidor, utilizando-se de um browser como cliente e um computador pessoal com sistema operacional Linux como servidor. A GUI é baseada na linguagem de programação Java e HTML e tem como servidores programas desenvolvidos na linguagem C para controle da máquina.

A comunicação entre o servidor e a máquina é realizada através do protocolo de comunicação DNC (Comando Numérico Distribuído) do próprio CNC. A GUI para teleoperação consiste em uma página HTML contendo applets Java (para o controle da máquina) e imagens capturadas por uma Webcam. Desta forma o usuário, através de um "CNC virtual" é capaz de enviar e executar programas, assim como as operações básicas da máquina. A segunda GUI para programação NC é orientada a máquina da White Martins, onde, o Projeto é baseado em Features. As features são elementos geométricos (linhas e arcos de circunferência) que são adicionados durante o processo de modelagem 2D, para definir o perfil da peça a ser cortada.

5.6. Sistema WebCapp (<http://webcapp.graco.unb.br>)

O sistema WebCAPP implementa um CAPP Variante em ambiente Web, utilizando-se dos conceitos de Tecnologia de Grupo, que regeu a classificação das peças. O sistema utilizado para classificação das peças foi o OPITZ. Na estruturação em ambiente Web, utilizou-se o MySQL (DBMS), PHP, plataforma Linux e o servidor Web Apache. Conseguiu-se obter, como resultado, um ambiente Web de fácil utilização, capaz de atuar como auxílio ao projetista, poupando-o do trabalho de cálculos e, em alguns casos, até mesmo de pesquisa. Com o auxílio do computador, o trabalho de desenvolvimento dos planos de processo torna-se muito mais rápido, tendo em vista a existência de uma base de dados e a facilidade de não lidar com papéis (exceto na impressão do plano). Possui, também, tratamentos de erro, que impedem o projetista de inserir dados errados, poupando tempo com revisões e reparos de projeto. Destaque maior ao fato da implementação ser feita para a Web, podendo o projetista/processista fazer consultas a projetos e inserir novos projetos de qualquer lugar que possua um computador conectado à Internet. Os dados são alimentados na base de dados do servidor.

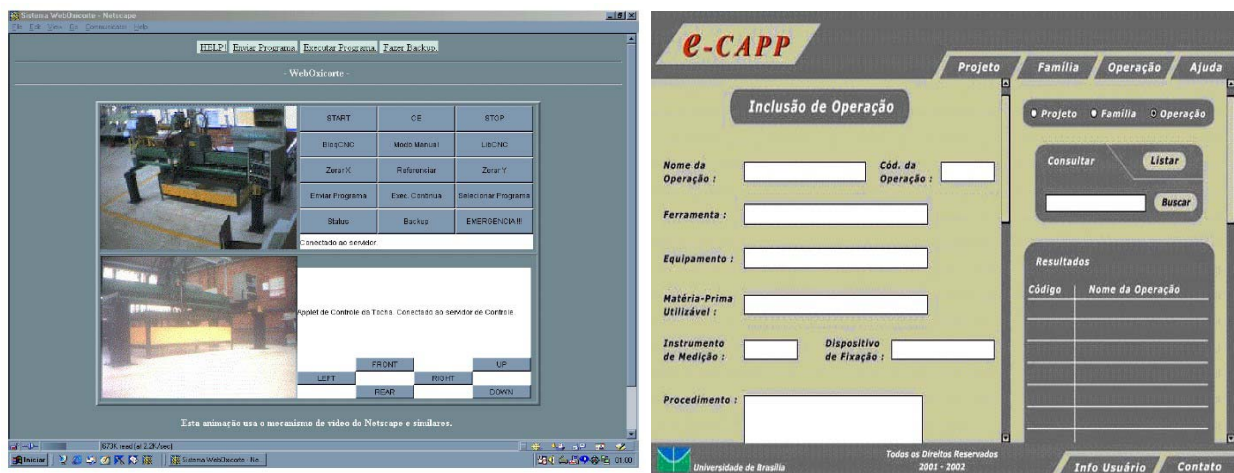


Figura 5. Sistema WebOxicorte e WebCapp, respectivamente

6. CONCLUSÃO

Um dos grandes empecilhos à tecnologia de teleoperação via Internet, atualmente, é o tempo de espera elevado em função da largura de banda existente na rede, ou seja, ainda é considerável o intervalo de tempo entre o envio do comando, a efetivação do posicionamento e a visualização da nova situação monitorada, o que compromete aplicações em tempo real que requerem maior confiabilidade e segurança, como no caso do sistema RobWebLink. As implementações dos sistemas de teleoperação utilizando a metodologia proposta demonstram a viabilidade da utilização de laboratórios remotos via Internet permitindo o seu uso em atividades de EAD.

A metodologia proposta, implementada e testada nos seis sistemas descritos apresentam como principal contribuição, uma sistematização de um modelo de desenvolvimento para a concepção de laboratórios remotos e sistemas teleoperados baseado na Web, utilizando-se de *free software* em plataforma Unix/Linux. Mostrou-se que é possível a sua utilização em um contexto de EAD, tendo total controle sobre o experimento

em execução, o que normalmente não ocorre quando se utiliza uma abordagem baseada em software proprietário/comercial, com o uso de sistemas de supervisão industrial ou mesmo com o LabView (<http://www.ni.com>) em plataforma Windows.

A utilização da Internet como meio de transmissão de dados para as aplicações de teleoperação e manufatura remota desenvolvidas mostrou-se adequada, e permite que os sistemas sejam amplamente disponível para usuários, sem limitações geográficas.

Constata-se que a partir do desenvolvimento de laboratórios remotos acadêmicos, em universidades e centros de pesquisas, muitas empresas como a National Instruments, fabricante do LabView, estão investindo no desenvolvimento de ferramentas, sistemas de teleoperação e instrumentação remota via Internet para aplicação em Automação Industrial. Um outro exemplo é a Volkswagen que desenvolve laboratórios remotos para testes de motores visando a diminuição de custos e compartilhamento de sua estrutura laboratorial entre a matriz na Alemanha e sua filial no México.

Espera-se que a utilização destas tecnologias associadas a maior largura de banda da Internet irá viabilizar aplicações em tempo real no futuro, como menos restrições que se tem atualmente.

7. REFERÊNCIAS

- Ahn, S., Sequin C. e Wright. P., 1999, "Internet-Based Design in Manufacturing", Final Report 1988-99 for micro Project 98-136, TRW.
- Álvares, A. J. & Romariz, L. J., 1998, "Desenvolvimento de um Manipulador Com Dois Graus de Liberdade Controlado Remotamente Via Internet", V Congresso de Engenharia Mecânica Norte e Nordeste, Fortaleza, págs. 529-536.
- Álvares, A. J. & Romariz, L. J., 1999, "TeleRobótica: Metodologia Para o Desenvolvimento de Sistemas Robóticos Teleoperados Via Internet", XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, S.P.
- Álvares, A. J. e Romariz, L. J., 2002, "Telerobotics: Methodology for the Development of a Through-the-Internet Robotic Teleoperated System", Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, Vol. XXIV, No. 2, págs 122-126.
- Álvares, A. J., 2002, "Monografia da Disciplina de Estudo Dirigido: TeleManufatura Aplicada a Operações de Usinagem", Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, <http://WebMachining.AlvaresTech.com/telemanufatura>.
- Álvares, A. J., Ferreira, J. C. E., Shimabukuro, L. e Fernandes, C. A., 2002, "Um sistema de telemanufatura baseado na web orientado ao processo de oxicorte", XXII ENEGEP, Curitiba.
- Hirzinger, G. et al, 1997, "Teleoperating space robots - impact for the design of industrial robots, IEEE International Symposium on Industrial Electronics", Portugal, July 12-16, pp. 250-256.
- Knight, C.D., DeWeerth, S.P., 1996, "World Wide Web-Based Automatic Testing of Analog Circuits". Proc. of Midwest Symposium on Circuits and Systems . IEEE press: Ames, IA., págs. 295-298.
- Lee, Kok-Meng, Daley, W. and McKlin, T., 1998, "An interactive learning tool for dynamic systems and control", presented at International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Anaheim, CA.
- Malek, L. A., Wolf, C. e Guyot, P. D., 1998, "Telemanufacturing: A Flexible Manufacturing Solution", Int. J. Production Economics, Vol. 56-57, págs. 1-12.
- Melchior, C., 1996, "Sistemas interpessoais de videoconferência (mbone)", <http://www.penta.ufrgs.br/~cristina/mbone/ti/indiceti.htm>.
- Merrick, C.M. and Ponton, J.W., 1996, "The ECOSSE Control HyperCourse," Computers in Chemical Engineering, vol 20, Supplement, págs S1353-S1358. (www.chemeng.ed.ac.uk/ecosse/control/sample/index.html).
- Porto, A.J.V., Palma, J.G., 2000, "Manufatura Virtual", Cap. 10 do livro "Fábrica do Futuro", Revista OS-Produtos & Serviços, N. 312, págs. 89-97.
- Shaheen, M., Loparo, K. and Buchner, M., 1998, "Remote Laboratory Experimentation", Proc. of ACC , Philadelphia, págs. 1326-1329.
- Schmid, C. 1998, "The Virtual Lab VCLAB for Education on the Web", Proc. Of ACC , Philadelphia, págs. 1314-1318, <http://www.esr.ruhr-uni-bochum.de/VCLab>.
- Smith, C. S., Wright, P. K., 2001, "Cybercut: An Internet-based CAD/CAM System", ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 1, No. 1, págs 1-33.
- Stonick, V.L., 1993, "Teaching Signals And Systems Using The Virtual Laboratory Environment At ECE At CMU", Proc. of the 1993 IEEE Int'l Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing , págs. 36-39.

Wolf, H. & Froitzheim, K., 1997, "Webvideo - A tool for www based teleoperation", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Portugal, págs. 268-273.

METHODOLOGY FOR IMPLANTATION OF REMOTE LABORATORIES THROUGH INTERNET IN THE AREA OF AUTOMATION OF THE MANUFACTURE

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Grupo de Automação e Controle (GRACO), CEP 70910-900, Brasília, DF, alvares@AlvaresTech.com.

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA-GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, jcf@grucon.ufsc.br.

***Abstract.** This article describes a methodology for implementing laboratories controlled through Internet in a context of Distance Education for the development of remote experiments in the area of manufacturing automation and robotics. The teaching of Engineering in the area of Industrial Automation, especially in Manufacturing Automation and Robotics, should necessarily combine theory and practice. Students should acquire knowledge and develop abilities, and to achieve that it is important to use laboratories composed of: numeric control machine tools, industrial robots, mobile robots, CAD/CAE/CAM systems, networks, communication protocols, flexible manufacturing cells, among others. These items are expensive and they are usually available in university laboratories and technical schools. The interaction with real pieces of equipment motivate the students, leading them to develop practical approaches for solving real engineering problems. This way the teaching in the area of Manufacturing Automation and Robotics, and many other engineering areas necessarily require laboratory activities that should be executed either in the physical presence of the student or under the point of view of Distance Education through mechanisms and methodologies that make possible its execution in a remote way, and to achieve that it is fundamental that laboratories provide technology that enable them to accomplish remote experiments.*

***Keywords.** Telemanufacturing, Distance Education, Mechatronics, Internet, Automation.*