



RETROFITTING DO ROBÔ ASEA IRB6

Débora Cristina Maia de Vasconcelos - deaus@uol.com.br
Guilherme Campelo Fortunato Torres - guilhermefortunato@hotmail.com
Alexandre Queiroz Bracarense – queiroz@demec.ufmg.br
Renato Ventura Bayan Henriques - bayan@demec.ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação, Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, 31270-901 - Belo Horizonte – MG, tel.: (31) 3499-5245; fax.: (31) 3443-3783.

***Resumo:** Nesse artigo descreve-se os procedimentos e análises para o retrofitting de um robô antigo, por possuir tecnologia computacional ultrapassada. O objetivo do retrofitting aplicado ao ROBÔ ASEA IRB6 é o de disponibilizá-lo para o meio acadêmico, a fim de que sirva como ferramenta didática para alunos dos cursos de engenharia. Além disso, o procedimento visa um aprimoramento no controle, mais robusto e avançado, para uso em dissertações, teses e pesquisa na área de controladores específicos para este tipo de equipamento. Será demonstrada dessa forma, a aplicabilidade do retrofitting na atualização de equipamentos e ferramentas em desuso, principalmente para empresas que preferam investir nos materiais que possuem, a adquirir novos. O estudo dos componentes existentes, a análise da reutilização ou substituição por novos, o planejamento do projeto e a implementação em si, são pontos detalhadamente descritos neste artigo.*

***Palavras-chave:** retrofitting, robô, controle, encoders.*

1. INTRODUÇÃO

Este artigo descreve o trabalho de “retrofitting”, um procedimento que vem sendo realizado no Brasil principalmente na área de usinagem, por exemplo, (Lages, 2002), de um robô ASEA IRB6- S2, o que iniciou com um minucioso estudo dos componentes que constituem a parte mecânica do robô. O robô foi inteiramente desmontado e seu estado mecânico foi avaliado. Manutenção e revitalização foram executadas procurando compreender sua dinâmica de funcionamento. Posteriormente, passou-se a avaliar a parte eletrônica, o que compreendia os atuadores, sensores, conectores e o mais importante, o armário de controle, onde toda sua lógica se encontrava. Após esse estudo, pôde-se ter uma idéia do estado dos mesmos e decidir o que poderia ser aproveitado. Seguindo o princípio do retrofitting, verificou-se que apenas à parte de potência do armário seria reaproveitada. A parte de lógica não interessaria, por se tratar de uma lógica específica e proprietária; específica porque permitia ao robô apenas movimentos preestabelecidos para sua função anteriormente definida e proprietária por não se possibilitar modificações independentes, mantendo-se, assim, sempre o vínculo de dependência à sua empresa criadora.

O projeto encontra-se em uma fase de definição, que culminará com o final da procura e análise das várias possibilidades de *hardware* (placas para aquisição de dados e para controle), sistemas operacionais (para ‘rodar’ as aplicações) e claro, as aplicações em si, e o emprego de toda essa tecnologia. Os ganhos acarretados graças a projetos deste porte são imensuráveis. Ao final deste projeto o ganho prático e teórico adquirido pelos envolvidos e, claro, o novo ASEA IRB-6 , poderá ser usado em qualquer tarefa como qualquer outro robô de cinemática semelhante – mais especificamente em soldagem.

Com o uso de escrita simples, espera-se nesse artigo uma capacidade de entendimento universal, onde qualquer pessoa ao lê-lo possa entendê-lo. Os termos técnicos necessários serão *a priori* explicados.

2. ABORDAGEM DO PROJETO

Semelhante a todo problema de engenharia, este projeto foi abordado a partir de etapas. Estas etapas dividem o grande projeto em pequenos problemas solucionáveis. Descreve-se a seguir as etapas definidas e como devem ser realizadas em um projeto para a implementação de retrofiting. Numa primeira etapa realizou-se a análise das partes que foram mantidas ou preservadas tanto no robô quanto no armário de controle, após o retrofiting.

2.1 O Robô

A principal parte, especificamente neste caso, foi o robô ASEA IRB6 mostrado na Figura 1.



Figura 1. Robô ASEA IRB6-S2 (Base do Projeto).

Fez-se um estudo relativo à mecânica do equipamento como um todo, procurando-se conhecer bem sobre cada componente (funcionamento, função, características ideais de trabalho, etc.), antes de repará-lo. Este procedimento, didaticamente, é a melhor parte deste tipo de projeto, onde as pessoas envolvidas têm possibilidade de aprender muito devido ao que transcorre paralelamente, incentivado pela necessidade da realização de um bom trabalho.

Existem termos técnicos que não são tão claros para aqueles que não lidam no meio da robótica. Define-se, dessa maneira, alguns termos importantes para o entendimento deste artigo(Craig, 1989):

1. “Junta” é a união existente entre duas hastes adjacentes no corpo do robô.
2. “Graus de Liberdade” é a quantidade de juntas que um robô possui, dando-lhe versatilidade.
3. “Área de Trabalho” é caracterizada com a região de alcance do robô.
4. “Motor C.C.” é o motor cuja corrente de alimentação é contínua.
5. “Atuador” é um componente do robô responsável em transferir movimento ao mesmo (motor).

O robô ASEA é um manipulador de cinco graus de liberdade rotacionais. Dos cinco eixos apresentados abaixo, na Figura 2, os quatro primeiros possuem, cada um, um motor independente responsável pelos movimentos descritos, sendo que o quinto eixo apresenta um movimento específico resultante da combinação de um motor próprio com o motor do eixo quatro.

O nome manipulador é devido à sua versatilidade em trabalhar com ferramentas (manipular) para as mais variadas tarefas, das quais, uma das mais conhecidas é a soldagem. Dentre os motores, existem dois modelos distintos Modelo um, os que se acoplam em reduções mecânicas (3 unidades) e Modelo 2, os que interagem sem reduções mecânicas (2 unidades).

Os movimentos dos eixos do robô (sua cinemática) são dependentes do seu número de juntas (Craig, 1989). A Figura 2 representa esquematicamente os cinco eixos do robô em estudo.

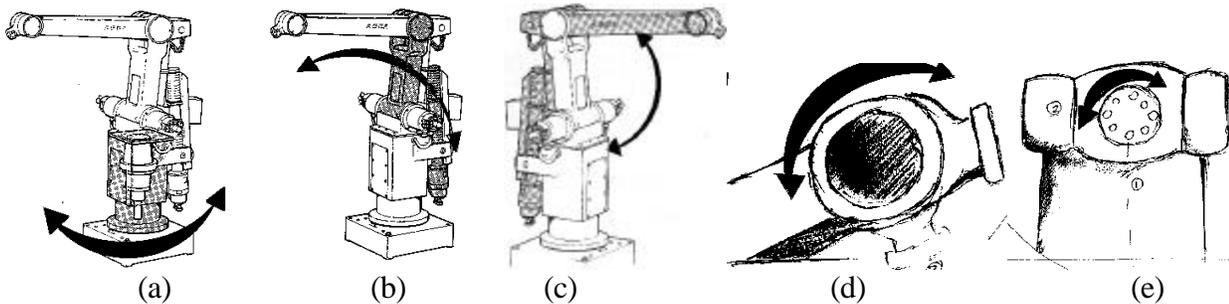


Figura 2. Representação esquemática dos 5 eixos do robô IRB6: (a) eixo 1: rotação da base do robô (b) eixo 2: movimento do braço inferior e superior (c) eixo 3: movimento para cima e para baixo do braço superior (d) eixo 4: movimento para frente e para trás do punho (e) eixo 5: movimento rotacional do eixo através do punho.

Existem várias outras arquiteturas mecânicas totalmente diferentes, essas diferenças permitem que robôs possuam diferentes “Áreas de Trabalho”, as quais possibilitam outras funcionalidades para cada um destes robôs.

O IRB6 possui muitas particularidades mecânicas que devem ser mencionadas. Dentre as mais interessantes pode-se citar as alavancas que transmitem o movimento de um ponto a outro e a redução elíptica que multiplica o torque do motor (*harmonic drive*), ambas mostradas na Figura 3. As alavancas são interessantes, visto que operam por dentro do corpo do robô, em uma dinâmica de mecânica muito refinada. Mas fundamental para toda a dinâmica do robô, as reduções elípticas garantem o funcionamento do mesmo com o uso de motores de pequeno porte. Para carregar a mesma carga sem o uso da multiplicação de torque, teria-se que usar grandes e pesados motores (uma inércia muito grande), o que complicaria o controle dos movimentos do robô.

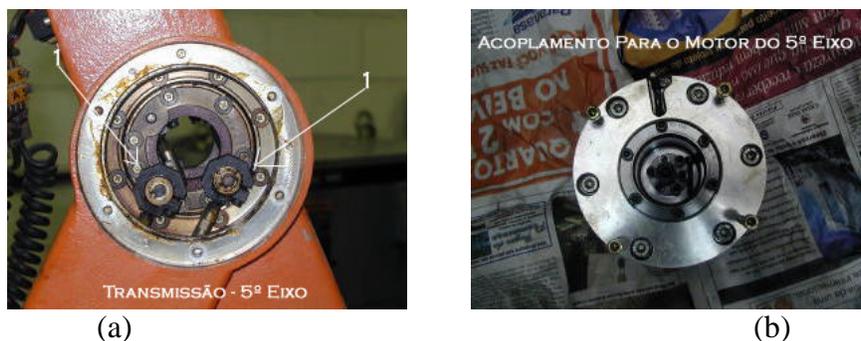


Figura 3. (a) Sistemas de alavancas de transmissão (b) Redução elíptica.

2.1.1 Os Motores

Os motores modelos 1 e 2, mostrados na Figura 4, são atuadores alimentados por uma tensão contínua nominal de 30V (volts), onde uma corrente nominal de 6,5A (âmpere) circula.



Figura 4. Motores do robô IRB6: (a) motor modelo 1: sem freio (b) motor modelo 2: com freio.

Os motores Modelo 2, especificamente, possuem freios, os quais são acionados por uma tensão contínua de 24V (volts), onde uma corrente nominal de 0.37A (âmperes) circula. Um ítem interessante constatado durante a análise dos freios, é o fato destes funcionarem em lógica negativa, isto é, estes são normalmente ativos (bloqueados) e quando quer-se liberá-los, aplica-se a tensão nominal. Isto leva a um fenômeno muito relevante para a segurança no uso do robô, visto que quando em funcionamento os movimentos ocorrem livremente; quando acaba a energia, automaticamente, tudo é bloqueado, permanecendo na última posição. O que permite tal lógica é o princípio de funcionamento do freio, que é magnético.

Após a montagem do corpo do robô, retirou-se todos os motores do mesmo no intuito de testá-los. Inicialmente à vazio (sem carga) aplicou-se a tensão nominal e com auxílio de uma fonte regulável, verificou-se o funcionamento de todos. Garantiu-se, dessa forma, testes seguros, pois se diminuía a chance de queima dos mesmos, já que não havia carga, caso algo errado existisse. Em seqüência, partiu-se para dois testes dos motores que avaliariam o torque: motores acoplados ao manipulador e motores com carga.

Motores Acoplados Ao Manipulador: Usando a mesma fonte regulável para acionar os motores, verificou-se se os motores possuíam torque suficiente para movimentar seus respectivos eixos (Figuras 5(a) e 5(b)).

Motores com Carga: A carga foi aplicada manualmente. Um dos envolvidos no projeto tentava impedir o movimento do eixo do robô e verificava o torque do manipulador (Figuras 5(c) e 5(d)).

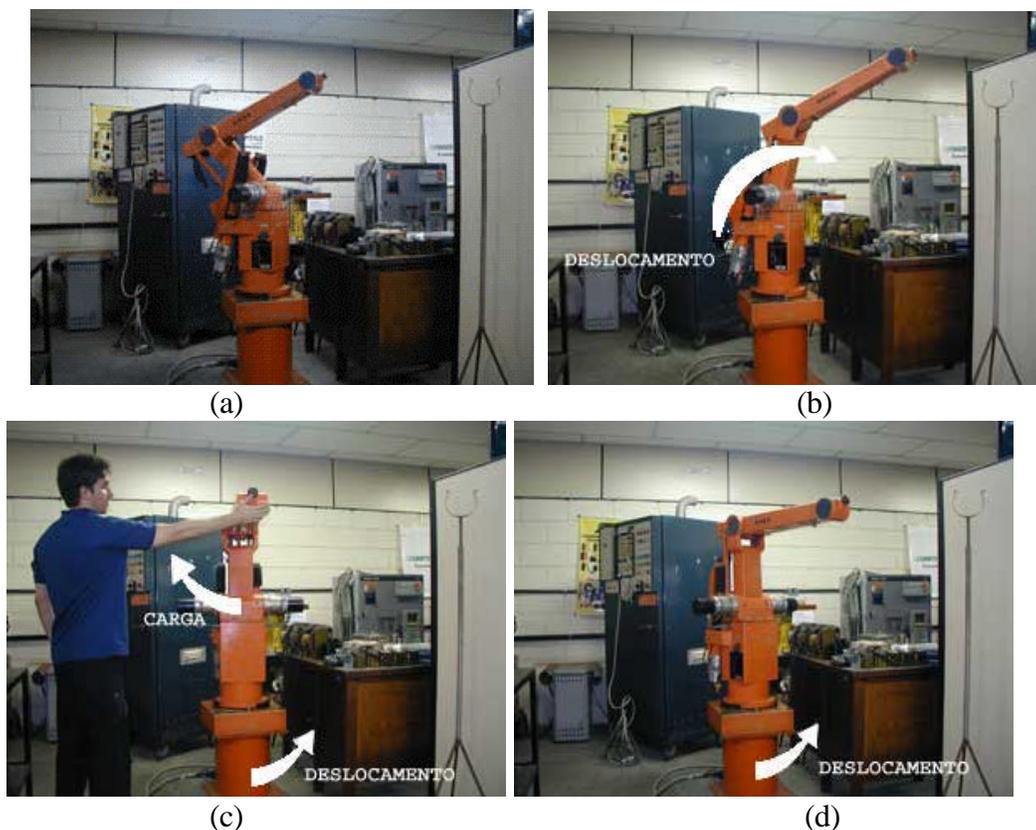


Figura 5. Movimento do braço do robô: (a) movimento do braço inferior para trás (b) movimento do braço inferior para frente (c) carga contrária ao movimento do braço do robô (d) movimento da base do robô.

Os resultados destes testes confirmaram que os motores estavam aptos a serem utilizados no retrofitting.

2.1.2 Os Sensores

Para um robô realizar sua tarefa com adequada precisão, velocidade e “inteligência”, é preciso conhecer seu estado e o entorno de seu estado. A informação relacionada com seu estado, fundamentalmente a posição de suas articulações, controle de posição angular e outros, consegue-se com os sensores internos (potenciômetros, resolvers, encoders, sincros, etc), enquanto que a informação referente ao estado de seu entorno, se adquire através dos sensores externos.

O sensor interno responsável por fornecer a posição dos motores no robô ASEA IRB6 é o resolver. O resolver é um sensor analógico com resolução teoricamente infinita, devido ao caráter contínuo do sinal. No entanto, essa resolução depende também da eletrônica associada, o que limita a precisão de forma prática.

O resolver possui um enrolamento primário e dois secundários como um transformador. Os enrolamentos secundários são chamados de estator e encontram-se defasados fisicamente de 90° . Já o enrolamento primário, o rotor, fica acoplado ao eixo do resolver. Ao ser aplicada uma tensão de referência AC, numa frequência constante, no enrolamento do primário, os sinais de saída do estator terão a mesma frequência. A Figura 6 apresenta o esquema de funcionamento do resolver.

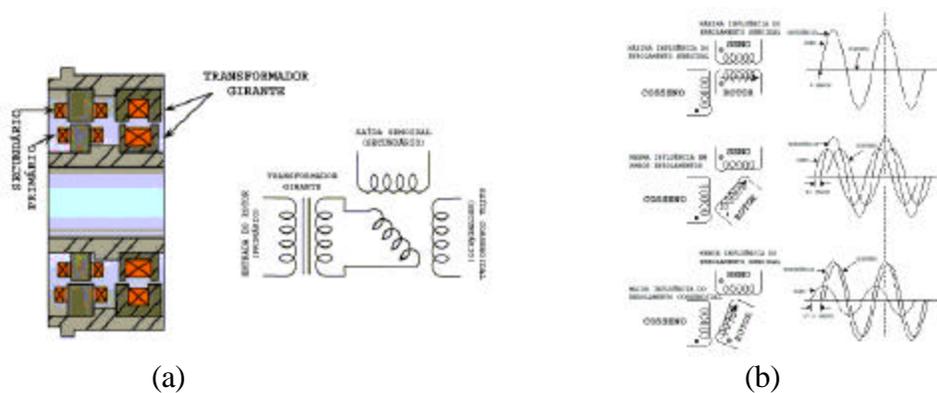


Figura 6. Esquema de funcionamento do resolver: bobina acoplada ao eixo excitado por um transformador e duas bobinas fixas situadas a seu redor: (a) Bobinas fixas e bobinas móveis (b) Rotor e formas de onda das saídas.

A arquitetura original do robô ASEA utilizava resolvers para fornecer a posição. No entanto, foi feita a troca dos resolvers por encoders haja visto que a maioria das placas disponíveis no mercado fazem o tratamento do sinal de encoder. Uma diferença básica entre resolvers e encoders é que resolvers determinam a posição absoluta do eixo diretamente. Com encoders, somente movimento incremental do eixo é fornecido diretamente (Doebelin, 1990). A escolha da troca dos resolvers por encoders será feita devido a uma maior facilidade de tratar os dados digitais do encoder diretamente na placa.

2.2 Armário de controle

Alguns dos componentes do equipamento considerados obsoletos foram removidos, atualizados e/ou substituídos devido ao retrofiting. De um modo geral a parte que era desatualizada, proprietária e específica era a parte elétrica e eletrônica que compunha o armário do robô.

Inicialmente pensou-se em eliminar todos os componentes e posteriormente substituí-los por novos. Porém, para que se pudesse fazê-lo, teria-se que, primeiramente, estudar os elementos que o compunham (função, características, etc.) para, posteriormente, substituir por componentes compatíveis. A parte de potência do robô seria totalmente reutilizada. Seus transformadores (três) e retificadores (três) encontravam-se em ótimo estado. Os transformadores, ligados em estrela, (Smith & Sedra, 2000) alimentados por tensão trifásica 380V (volts), proporcionam tensões trifásicas (um mesmo transformador transforma uma tensão de entrada em várias outras tensões de saída). A Figura 7 apresenta a planta elétrica da parte de potência (Product Manual for ASEA's Industrial Robot IRB 6/S2, 1986).

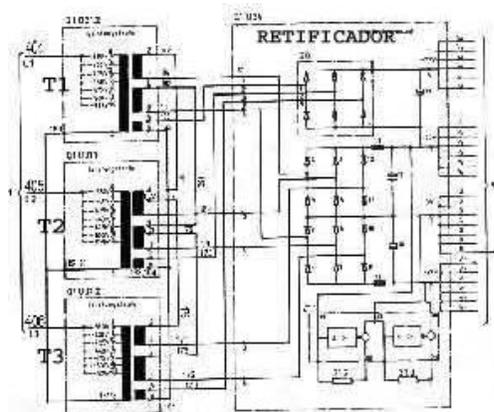


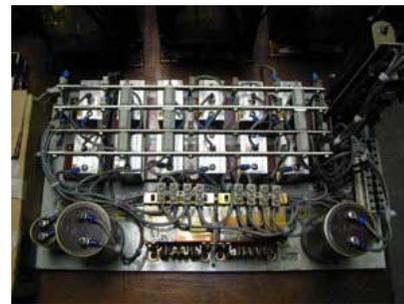
Figura7. Planta elétrica das ligações dos transformadores e as saídas dos barramentos

O motivo destes três transformadores se encontrarem em ligação estrela é o fato desta mesma ligação possuir um ponto em comum para os três transformadores, o que força o outro ponto a também possuir o mesmo valor. Por exemplo: se duas tensões de 220V são tomadas, uma dessas pode estar em um potencial 0V em uma de suas fases e 220V em outra. Enquanto a outra tensão pode estar com 10V em uma de suas fases e 230V na outra. Ao se fazer um ponto em comum, ligando as fases de 0V e 10V, força-se este ponto para 0V e garante-se 220V na outra fase. A Figura 8 mostra os transformadores e o retificador.

Essa fonte já se encontra dimensionada para todos os motores, ou seja, as necessidades requeridas pelos motores estão satisfeitas (*ripple* máximo, corrente máxima, etc.).



(a)



(b)

Figura 8. (a) Vista do transformador (b) Vista do retificador.

3. ARQUITETURA DE CONTROLE PROPOSTA PARA O ROBÔ ASEA IRB6

Originalmente, apesar do controle ser realizado independentemente para cada junta, ele era centralizado em uma única máquina, apresentando a inconveniência do ponto único de falha. Considerando-se ainda os graus de liberdade redundantes que o robô possui em sua estrutura, um incremento considerável na tolerância à falhas global do sistema seria alcançado pela distribuição física do controle. Os dispositivos a serem organizados em uma arquitetura distribuída são aqueles responsáveis pela E/S em cada junta (i.e., sensores de posição e motores de atuação) e, eventualmente, processadores com desempenho adequado às estratégias de controle implementadas. Observe-se que sobre tal sistema distribuído de controle são impostos fortes requisitos temporais, em vista do acoplamento que há entre o bloco de controle e o efetivo estado físico do sistema. Requisitos a serem necessariamente formulados dizem respeito a prazos, latências e *jitter* (i.e., a variação verificada entre os tempos máximo e mínimo de uma atividade qualquer) "fim a fim", envolvendo a entrega de mensagens, tempos de processamento, dependências e precedências.

Visando flexibilidade, escalabilidade e baixos custos, a distribuição de E/S foi projetada uma rede de microcontroladores interligados através de um barramento industrial do tipo *CAN-Bus*. Esta rede se constitui no bloco de execução, ilustrado na Figura 9, o qual deve estar de alguma forma conectado aos blocos de escalonamento e planejamento da arquitetura projetada, o que será feito através de um *Gateway*, no caso, um *PC Pentium IV* com uma interface *CAN* e outra *Ethernet*. A interface *Ethernet* é uma implementação do padrão IEEE 802.3 para redes locais com *Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection* (CSMA/CD), o qual é incapaz de garantir limites superiores para a transmissão de qualquer mensagem em particular e, portanto, é impróprio para aplicações de tempo

real. No entanto, graças ao baixo custo, à (relativamente) alta banda de transmissão e à notável base de software desenvolvida (e.g., TCP/IP), é a melhor opção para a conexão entre os blocos de planejamento e escalonamento/admissão, para os quais não há requisitos críticos de tempo real. Já o *CAN-Bus* é especialmente promissor como base para o projeto de protocolos de comunicação de tempo real flexíveis devido à sua característica de atribuição de prioridades às mensagens, i.e., sempre que duas ou mais mensagens concorrerem pelo barramento, a de mais alta prioridade terá o seu acesso garantido com uma certa latência cujo pior caso é limitado e analisável.

Observe-se que o padrão *CAN-Bus* não garante, por si só, os requisitos temporais das mensagens difundidas pelo seu barramento. Tomando-se o modelo OSI como referência (Tanenbaum, 1994), o *CAN-Bus* especifica a camada física, a subcamada de acesso ao meio e a camada de enlace de dados, onde são tratados o fluxo de dados e os erros de transmissão. O que torna o *CAN-Bus* uma base atraente para o projeto de protocolos de comunicação de tempo real flexíveis é a possibilidade de se estabelecer prioridades globais para o acesso das mensagens ao barramento, o que é feito através do mecanismo de arbitramento de bits: (i) um dos estados, 0 ou 1, é designado como dominante e o outro como recessivo, (ii) no caso de uma colisão, o nó que escrever um bit recessivo no barramento e ler um *bit* dominante (i.e., uma mensagem de maior prioridade do que a sua está sendo transmitida) interrompe a transmissão, evitando-se o desperdício de banda com retransmissões posteriores de ambos os nós. Este método de acesso ao barramento é denominado de CSMA/CA, onde CA significa *Collision Avoidance*, embora o mecanismo de arbitragem fosse melhor descrito por "resolução de colisão", uma vez a colisão não é verdadeiramente evitada, mas sim resolvida.

3.1. Controle das juntas

Como podemos observar na literatura de controle de robôs (FU, 1987; SCIAVICCO, 1996), a implementação do controle de cada junta é independentemente realizado por PIDs. Tal abordagem, no entanto, não é a ideal para o controle de robôs, já que não leva em consideração, por exemplo, o acoplamento dinâmico entre os ligamentos que compõem o manipulador nem a variação dos momentos angulares sobre as juntas em função de diferentes configurações dos manipuladores. Em vista destas particularidades, o controle de braços robóticos é melhor tratado por uma estratégia de controle multivariável, implementada preferencialmente de maneira distribuída.

O sistema distribuído microcontrolado desenvolvido (Figura 9) é baseado nas placas TINI (*Tiny Internet Interface*), da Dallas Semiconductor Corporation. Estas placas possuem um microprocessador central que trabalha sobre um sistema operacional baseada em Java, mais um relógio tempo-real para controlar tarefas desta espécie, tem suporte para comunicação através do barramento industrial Can-Bus e também para redes *Ethernet*.

Estas placas deverão substituir em parte a tarefa feita pelos controladores PID, ficando estes com o encargo de realizar apenas o posicionamento das juntas mais próximas a garra, as quais possuem um controle menos crítico por possuírem uma estrutura física menor. Como suporte as placas Tini um hardware para interfaceamento com o robô foi montado, já que estas não possuíam uma interface sobre a qual fosse possível acessar os sinais elétricos necessários ao controle do robô.

O objetivo é fazer com que os componentes de controle operem nestes controladores e que para o sistema de controle mais genérico estes se comuniquem através do barramento *CAN-Bus*.

A partir deste sistema é possível planejar tarefas com o robô com requisitos temporais. Para a execução deste tipo de sistema sobre o barramento Can-Bus é necessário que os relógios de cada nó estejam sincronizados. Isto não acontece naturalmente pelo fato que relógios em diferentes sistemas podem ter pequenas diferenças de temporização, o que com o tempo podem aumentar.

Para sistemas com necessidades de baixa resolução temporal isto não é um problema, visto que pode-se transmitir o tempo de um nó esporadicamente e sincronizar os demais. Para resoluções de tempo muito próximas ou inferiores aos segundos, isto pode ser um problema. É necessário então que

uma metodologia de sincronização seja aplicada. Para a sincronização temporal dos nós do barramento será implementado o trabalho adotado pela organização de usuários deste barramento, a CiA (Can in Automation).

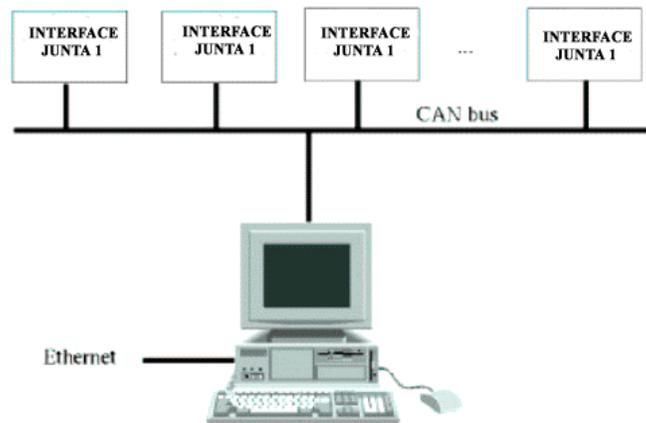


Figura 9 - Estrutura de controle proposta

4. CONCLUSÕES

O projeto será finalizado com a montagem da arquitetura proposta. Para essa arquitetura, serão utilizados um microcomputador pentium 4, uma placa de controle DSPACE e placas Tinny para acionamento.

O computador de controle é essencial em um sistema de controle mais moderno por propiciar uma boa interface para gerenciamento do processo e permitir que o manipulador receba parâmetros diversos, dentro das faixas aceitáveis, fornecidos pelo usuário.

A placa de controle contém os algoritmos para a realimentação e lida com a interface da máquina, além de controlar cada eixo e os sinais recebidos dos seus sensores. Desta maneira a placa torna-se um instrumento que facilita o controle do robô, propiciando um controle mais preciso com a malha fechada.

A realimentação, que torna o sistema mais flexível (programável) e eficiente, utilizará encoders para controle de posição e para o controle de velocidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a FAPEMIG, através do projeto número 2471-98 pelo suporte financeiro do projeto. Os agradecimentos também vão para o Prof. Walter Fetter Lages da UFRGS e Prof. Mário Campos Montenegro pelo apoio no desenvolvimento do projeto.

6. REFERÊNCIAS

- Craig, J.J, 1989, "Introduction to Robotics Mechanics and Control", second edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Doebelin, E.R, 1990, "Measurement Systems", McGraw- Hill International Editions
- K. S. Fu, R. C. Gonzales, C. S. G. Lee, 1987, "Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence." McGrawHill, Inc.
- Lages, W.F. and Reginatto, R., "Saturation Compensation in the Control of Janus

Robot Manipulator”, Congresso Brasileiro de Automática – CBA’2002, Natal - RN.
L. Sciavicco; Siciliano. B., 1992, “Modeling and Control of Robot Manipulators.” McGrawHill, Inc.
Product Manual FOR ASEA`s Industrial Robot IRB 6/S2, 1986
Service Manual for ASEA`s Industrial Robot IRB 6/S2, 1986
Smith, K.C. and Sedra, A.S., 2000, “Microeletrônica”.
Tanenbaum, A. S., 1994, “Redes de Computadores”, tradução de PubliCare Serviços de Informática.
Editora Campus Ltda.
Xu, T. and Sluzek, A., 1998, “Coordination of 5 DOF Robots Jointly Handling Oversized Objects”, In
Highlights from the SAS Research Link, January.

RETROFITTING OF AN ASEA IRB6 ROBOT

Débora Cristina Maia de Vasconcelos - deaus@uol.com.br
Guilherme Campelo Fortunato Torres - guilhermefortunato@hotmail.com
Alexandre Queiroz Bracarense – queiroz@demec.ufmg.br
Renato Ventura Bayan Henriques - bayan@demec.ufmg.br

Federal University of Minas Gerais, Mechanical Engineering Department, Laboratory of Robotics, Welding and Simulation, Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, 31270-901 - Belo Horizonte – MG - Brazil, tel.: (31) 3499-5245; fax.: (31) 3443-3783.

Summary: this article describes all the procedures and analysis for a robot retrofitting, no longer in use, because of its obsolete technology. The purpose (aim) of the retrofitting applied to the ASEA IRB6 ROBOT is to make it available for the academical environment, so that it serves as a didatic tool for the Engineering students of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Besides that, the procedure aims an improvement in the robot control, much more robust and advanced, to be used in master’s degree thesis, dissertations and “Ph.D.” and research on specific controllers for this equipment. It will be demonstrated, on this way, the use of retrofitting for the updating of equipment and tools not in use anymore, specially for the enterprises that prefer to invest on materials they own instead of acquiring new ones. The study of existing components, the substitution for new ones, the planning project and the implementation itself, are points detailed and described on this article.

Key words: *retrofitting, robot, control and encoder.*