

CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DIDÁTICO DE PRODUÇÃO NUM AMBIENTE DE MANUFATURA INTEGRADA

Osiris Cancigliari Junior – osiris@rla01.pucpr.br
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho
CEP 80215-030 – Curitiba – Paraná

Alcy Rodolfo dos Santos Carrara – carrara@rla01.pucpr.br
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho
CEP 80215-030 – Curitiba – Paraná

Alexandre Casella – avcasella@ig.com.br
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho
CEP 80215-030 – Curitiba – Paraná

Resumo: Com o advento dos mini e microcomputadores a um custo mais acessível, quase a totalidade das empresas de pequeno e médio porte tem executado seus projetos utilizando computador e aplicativos computacionais específicos. Essa nova metodologia de trabalho tem forçado projetistas a utilizarem a capacidade de processamento dos sistemas computacionais para cálculo, desenho em três dimensões, etc, colocarem no papel toda a informação necessária para a manufatura completa dos produtos industrializados. Essas ferramentas são indispensáveis a qualquer projetista, designer ou engenheiro, que atuam nos diversos segmentos do setor de engenharia. Por este motivo é que cada vez mais escolas técnicas ou de engenharia, interessadas na formação de seus alunos, estão investindo em laboratórios computacionais para suprir esta deficiência de mercado. Estas escolas visam oferecer a comunidade, profissionais preparados para enfrentarem os novos desafios do dia a dia competitivo. Em adicional, observando as disciplinas necessárias dentro dos cursos de engenharia Mecatrônica e Produção Mecânica, estão cada vez mais necessitando do uso do computador e softwares (aplicativos) em seus programas. Este artigo explora a concepção de uma bancada didática ilustrando de forma reduzida um ambiente integrado de manufatura onde o ensino das disciplinas de projeto e manufatura assistidos por computador é fundamental, configurando um armazém automatizado para a manufatura integrada, onde algumas operações básicas do ambiente são implementadas.

Palavras chave: Sistema Integrado de Manufatura, ASRS, Metodologia de Ensino.

1. Introdução

Com a globalização as empresas do setor fabril foram forçadas a colocarem seus produtos no mercado de forma mais rápida, com qualidade exigida pelos consumidores e legislação e principalmente a um custo competitivo. Para isso as empresas vêm necessitando cada vez mais de profissionais bem preparados tecnicamente nas áreas de projeto com o intuito de suprir esta deficiência. Um outro fator importante é que com o advento da informática, a um custo mais

acessível, a maioria das empresas vem executando seus projetos utilizando computadores e aplicativos computacionais específicos. É neste enfoque que os cursos, principalmente os de engenharia, vem tentando preparar seus alunos o mais próximo possível da realidade que eles irão encontrar quando mudarem de fase, isto é, do ambiente acadêmico para o da vida real.

Dentro deste contexto os alunos ou engenheiros são forçados a utilizarem sistemas computacionais com maior capacidade de processamento para cálculos, desenho em três dimensões, entre outros, colocarem no papel toda a informação necessária para a manufatura completa dos produtos industrializados. Essas ferramentas são indispensáveis a qualquer setor de projeto de empresas que atuem nos diversos segmentos do setor de engenharia. Devido a estes fatores é que nos Cursos de Engenharia de Mecatrônica e de Produção as disciplinas estão cada vez mais necessitando do uso do computador e softwares (aplicativos) em seus programas. Este artigo explora a concepção de uma bancada ASRS (Automated Storage and Retrieval System) didática ilustrando em tamanho reduzido um armazém automatizado em um ambiente integrado de manufatura. Esta bancada será utilizada nas aulas onde o projeto e a manufatura precisam ser assistidos por computador de forma integrada ilustrando o processo de montagem de um produto numa linha de produção.

2. Concepção do Sistema

O sistema didático proposto foi dividido em 3 partes distintas contendo uma interface com o usuário, uma placa de interface possuindo um módulo de controle dos manipuladores e a parte do armazém (prateleiras) onde estão estocados as carrocerias de diferentes cores, os chassis e eixos comuns dos veículos (figura1). Este sistema didático permite a exploração da agilidade e flexibilidade de sistemas de manufatura, evitando o desperdício de tempo na preparação do ferramental da linha de montagem quando esta não está preparada adequadamente para manufaturar produtos distintos. No armazém é possível estocar três tipos de carrocerias, sendo que cada tipo pode ser fabricado em várias cores e o subconjunto da suspensão que nesse caso é composta de chassi e eixos. A figura 1 ilustra também o fluxo de entradas e saídas necessários num sistema dessa natureza, pois o usuário define que tipo de veículo irá ser montado, a cor desejada e o sistema identifica em que lugares da prateleira existem um subconjunto chassi e carroceria respectivamente.

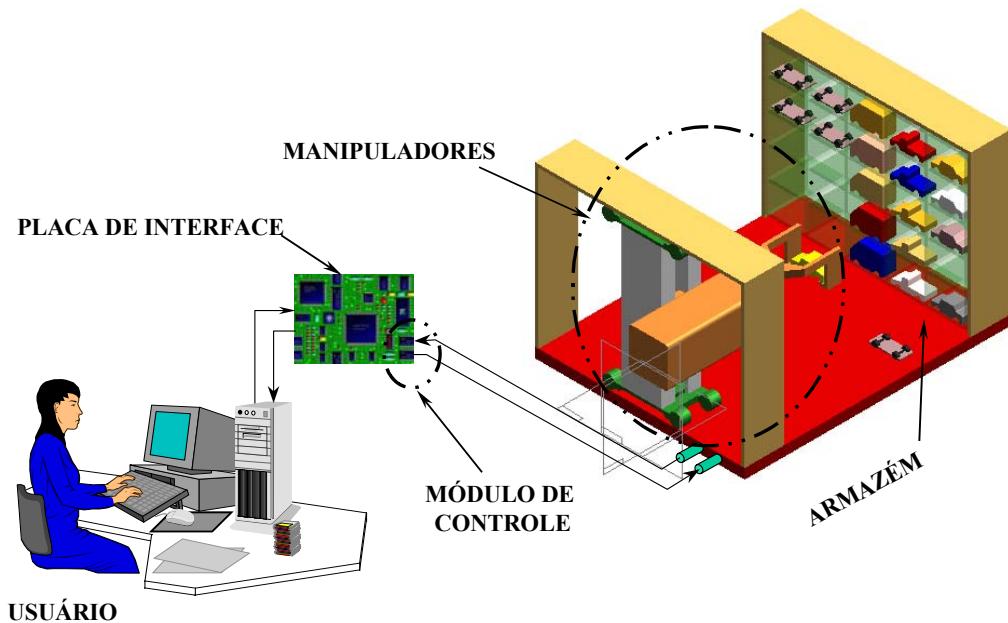


Figura 1. Estrutura da Sistema Didático

2.1 Tipos de Veículos

O sistema didático proposto é baseado na fabricação seriada de veículos, que nesse caso, ilustra de maneira reduzida a montagem de três tipos distintos que são: carro de passeio, a van e a camioneta

utilitários, como ilustrado na figura 2. Eles podem ser de diferentes cores e utilizam um subconjunto chamado suspensão o qual é comum para todos. Dessa maneira, por exemplo, é possível montar uma “van” nas cores azul, amarela ou vermelha utilizando a mesma suspensão que seria utilizada para a montagem do carro de passeio ou a camioneta. Em termos reais isso não seria possível uma vez que a suspensão utilizada para os três tipos de veículos não poderiam ser as mesmas. A ideia básica nessa pesquisa é explorar o fato de ser possível criar sistemas que sejam flexíveis e consigam atender as necessidades impostas dentro de um ambiente de manufatura.

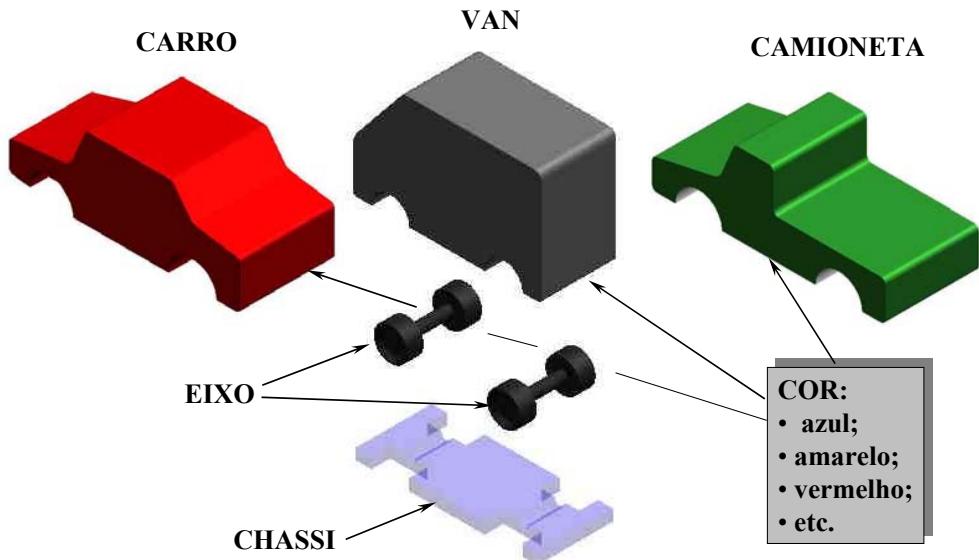


Figura 2. carrocerias, chassi e eixos dos veículos

2.2 Placa de Interface

O equipamento tem seu diagrama de blocos mostrado na figura 3. Trata-se de um circuito microcontrolado, com arquitetura baseada no AT89C2051 (Atmel 1997). Os comandos serão enviados ao microcontrolador através de uma entrada serial que através de um circuito auxiliar fará a comunicação com um microcomputador através do protocolo Fieldbus.

O uso dos barramentos industriais está ganhando aceitação em empresas com as mais variadas características de produção, sejam elas automobilísticas, de alimentos, farmacêutica, entre outras. Estes barramentos apresentam diversas vantagens, entre elas a redução de cabeamentos, pois integram em um único barramento os diversos equipamentos envolvidos no processo (Krug, 1999).

O protocolo Fieldbus executa uma comunicação bidirecional utilizada para conectar instrumentos digitais de chão-de-fábrica uns aos outros e ao sistema de controle central (Oshsner, 1997). Este protocolo serve como uma rede local (LAN - Local Area Network) usada na automação, a qual possui a capacidade de distribuir o controle da aplicação através de uma rede. O protocolo fieldbus pode ser dividido em três tipos de redes diferentes:

- **Redes de sensores ou Sensorbus** - são redes apropriadas para interligar sensores e atuadores discretos tais como chaves limites (limit switches), contactores, desviadores, etc. (Seixas, 2002).
- **Redes de Dispositivos ou Devicebus** - são redes capazes de interligar dispositivos mais genéricos como CLPs, outras remotas de aquisição de dados e controle, conversores AC/DC, relés de medição inteligentes, etc. (Seixas, 2002).
- **Redes de instrumentação ou fieldbus** - São redes concebidas para integrar instrumentos analógicos no ambiente industrial, como transmissores de vazão, pressão, temperatura, etc, válvulas de controle, etc. (Seixas, 2002).

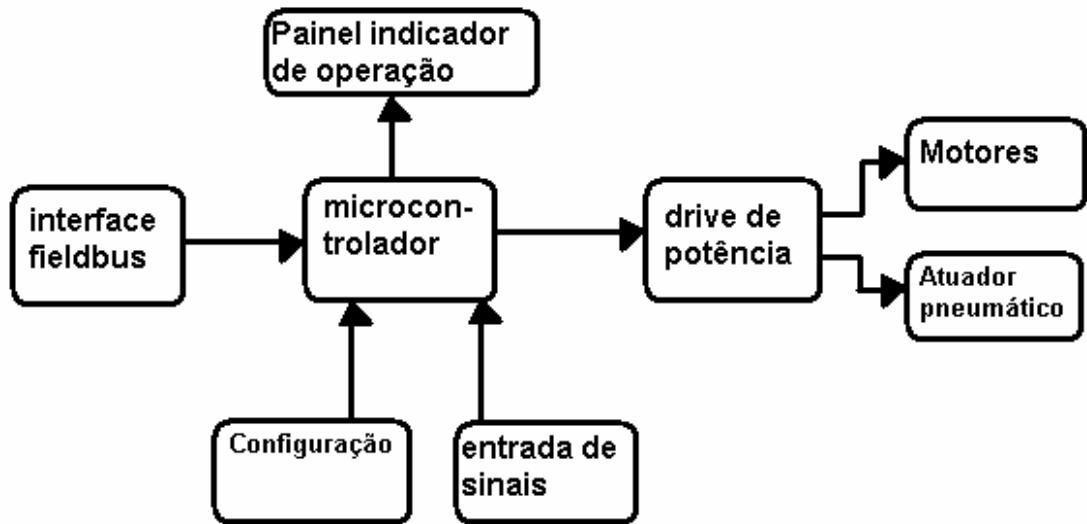


Figura 3. Diagrama em blocos do hardware de acionamento dos servo-motores

Para o controle do hardware e interface com o usuário está sendo desenvolvido um software em linguagem C utilizando o compilador μ Visual C2 versão 6.2 fabricado pela Keil.

Através das entradas de configurações pode-se ajustar a velocidade do controle e também escolher o algoritmo para o controle do movimento a ser realizado, sendo um algoritmo simples acionando apenas um motor para movimentação em um dos eixos e somente quando este eixo estiver sobre sua posição é movimentado o outro eixo, e o outro algoritmo que segue uma reta do ponto de origem até o ponto de destino, baseado na equação de feixes de retas, neste caso acionando os dois motores ao mesmo tempo mas com velocidades diferentes para que o movimento trace uma linha reta. A figura 4 mostra a representação gráfica dos subsistemas do software implementado no hardware.

As tarefas do sistema esta dividida em pequenos subsistemas, cada subsistema engloba pequenas tarefas simples. Cada subsistema é dividido em módulos que controlam uma ou mais tarefas que podem ser implementadas por software. Os módulos são divididos em procedimentos que possuem funções particulares ao seu controle. Finalmente os módulos de software consistem em grupos de procedimentos que se completam (Stewart, 1999).

Para a implementação do software dos subsistemas são utilizados Máquinas de estados finitos (FSM- Finite State Machine). A programação FSM ajuda o algoritmo ou rotina a decidir qual o próximo estágio do controle. FSM é uma poderosa ferramenta para uma programação de tarefas complexas (Stewart, 1999).

O hardware aceita comandos simples enviados pelo microcomputador, recebendo apenas informações da posição de origem, onde está o objeto na prateleira, e a posição de destino, onde colocar o objeto. A partir da aceitação do comando, a tarefa de buscar o objeto na prateleira é inteiramente do hardware, conhecendo a posição atual do sistema mecânico, faz a movimentação dos motores em todas as coordenadas de movimento e também fechando ou abrindo a garra. Por meio do microcomputador também modifica-se as configurações de controle no hardware, como velocidade da movimentação dos motores e escolha do algoritmo para o movimento.

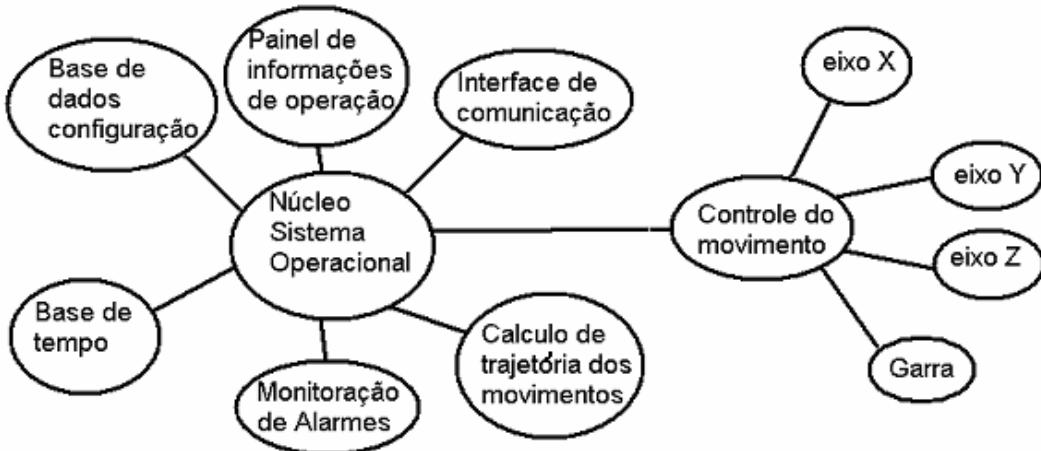


Figura 4. Subsistemas internos do hardware

2.2.1 Módulo de Controle

O módulo de controle está subordinado a placa de interface da qual faz parte. A partir dos comandos emitidos por esta placa executa então suas funções específicas.

O sistema de controle é composto de quatro modos de acionamento:

1. Controle de posição e velocidade do motor da base (guia linear) composto de motor de passo, codificador digital de posição (encoder), correia sincronizada e polias dentadas.
2. Controle de posição e velocidade do motor de elevação (atuador linear) composto de motor de passo, codificador digital de posição (encoder), fuso de esferas recirculantes.
3. Controle de posição e velocidade do motor de elevação (atuador linear) composto de motor de passo, codificador digital de posição (encoder), fuso de esferas recirculantes.
4. Abertura e fechamento da garra para manipulação de cargas.

O tipo de controle usado para um robô manipulador neste caso é o de um robô de configuração cartesiana somente com movimentos translacionais. As juntas translacionais tem modelos dinâmicos onde aparecem equações do tipo:

$$\sum \vec{F}_i = m_i \vec{a} \quad (1)$$

onde:

F_i – forças atuando individualmente na i -ésima junta.

m_i - massa da i -ésima junta.

Para o controle será usado controlador tipo PID com realimentação de posição diretamente do codificador digital de posição e de velocidade pela derivada numérica do sinal de posição. Este tipo de estratégia caracteriza servo-posicionamento. Com relação ao controle de posição existem dois tipos de movimentação no espaço externo: (i) controle ponto-a-ponto: a movimentação consiste do posicionamento preciso apenas nos pontos inicial e final; (ii) controle por trajetória contínua: a trajetória de movimentação é controlada ao longo de todo o movimento. A estratégia usada é a de usar controle contínuo nas regiões críticas e controle ponto-a-ponto em regiões não-críticas. Como exemplo de região crítica, tem-se a prateleira do armazém, onde o controle ponto-a-ponto poderia causar colisões indesejadas. Como exemplo de região não-crítica tem-se o espaço de onde o carro é agarrado na esteira transportadora e levado até a prateleira onde será colocado. Na prática o primeiro é chamado de movimento fino e o segundo de movimento grosso. Para determinação da posição e controle de posição e configuração da garra são usadas as matrizes de Denavit-Hartenberg

(Schilling, 1990) que para um elemento do robô é dada por [uma matriz por junta]:

$$[A_i] = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

onde são utilizados os quatro parâmetros D-H: θ_i , d_i , a_i , α_i . Estes são chamados de rotação, deslocamento, comprimento do elemento e torção do elemento (se houver). Para os três movimentos translacionais são usados somente d_i (deslocamentos) como variável; comprimento e torção são parâmetros estruturais constantes. Estes últimos serão usados no projeto. A rotação só é usada no modelo para juntas rotacionais. Para o posicionamento inverso via computador de controle, é usado o modelo cinemático inverso composto. Este usa as matrizes homogêneas inversas de A_i dadas individualmente por [uma matriz por junta]:

$$[A_i]^{-1} = \begin{bmatrix} c\theta_i & s\theta_i & 0 & -a_i \\ -s\theta_i c\alpha_i & c\theta_i c\alpha_i & s\alpha_i & d_i s\alpha_i \\ s\theta_i s\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & c\alpha_i & -d_i c\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Multiplicando ambas as matrizes (2) e (3) tem-se o modelo cinemático direto e o modelo cinemático inverso. Ambos serão usados no módulo de controle.

Para os atuadores são usados motores de passo em todas as juntas junto com fusos de esfera na junta de elevação e na junta de alcance conforme a figura 5 abaixo:

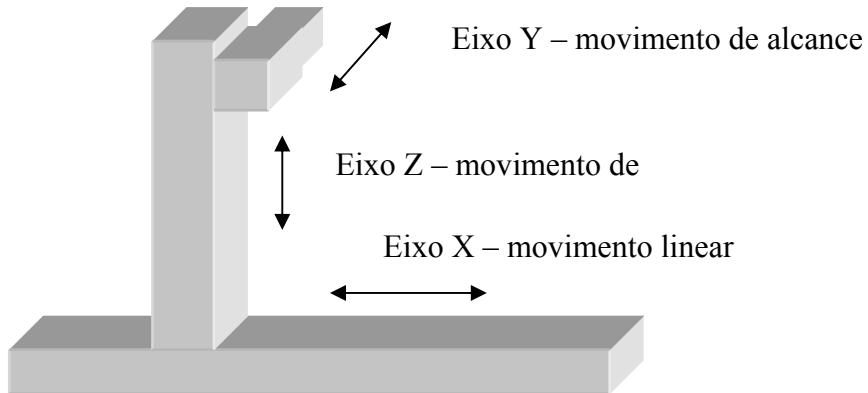


Figura 5 – Movimentos comandados pelo sistema de controle

A diferença entre os três modos de controle é que no eixo X o motor de passo está acoplado com polias dentadas e correia sincronizada.

Os modelos de atuadores basicamente são dois:

- Modelo do fuso de esferas recirculantes:

$$F = \frac{2T\pi d_m - \mu p \sec \beta}{d_m p + \mu \pi d_m \sec \beta} \quad (4)$$

onde:

μ - coeficiente de atrito entre os filetes da rosca;

β - ângulo do ápice do filete;

d_m – diâmetro médio do parafuso.

A Eq.(3) se aplica a roscas ACME e unificadas, onde existe um ângulo do ápice do filete β .

- Motores de passo:

$$n = \frac{A}{360^\circ} \quad (5)$$

onde:

n – resolução em revoluções por passo.

A – ângulo entre passos.

O modelo dinâmico é do tipo (Lewis, 1993):

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + F_v\dot{q} + F_d(\dot{q}) + G(q) + \tau_d = \tau \quad (6)$$

onde:

M(q) – Matriz de inércia;

$V(g, \dot{g})$ - matriz de termos de Coriolis;

$F_v \dot{q}$ - Vetor de termos de atrito viscoso;

$F_d(\dot{q})$ - vetor de termos de atrito de Coulomb;

G(q) – termos de gravidade;

τ_d – vetor de termos de perturbação de torque (variação na carga no eixo);

τ - vetor de torques de controle. Estes torques podem ser vistos em um módulo de controle independente por junta mostrado na Figura 6.

\ddot{q}, \dot{q} - vetores de aceleração e velocidade em coordenadas generalizadas.

A Eq.(6) tem uma solução particular que permite estimar os envelopes de forças e torques nas juntas que vai permitir dimensionar os motores de passo através da Eq.(4).que tem uma solução particular que permite estimar os envelopes de forças/torques nas juntas que vai permitir dimensionar os motores de passo através da Eq.(4).

Como a implementação do controle é digital e de estrutura do tipo PID (Groover, 1986), (Schilling, 1990) é mostrado na Figura 6 o controle para uma junta individual.

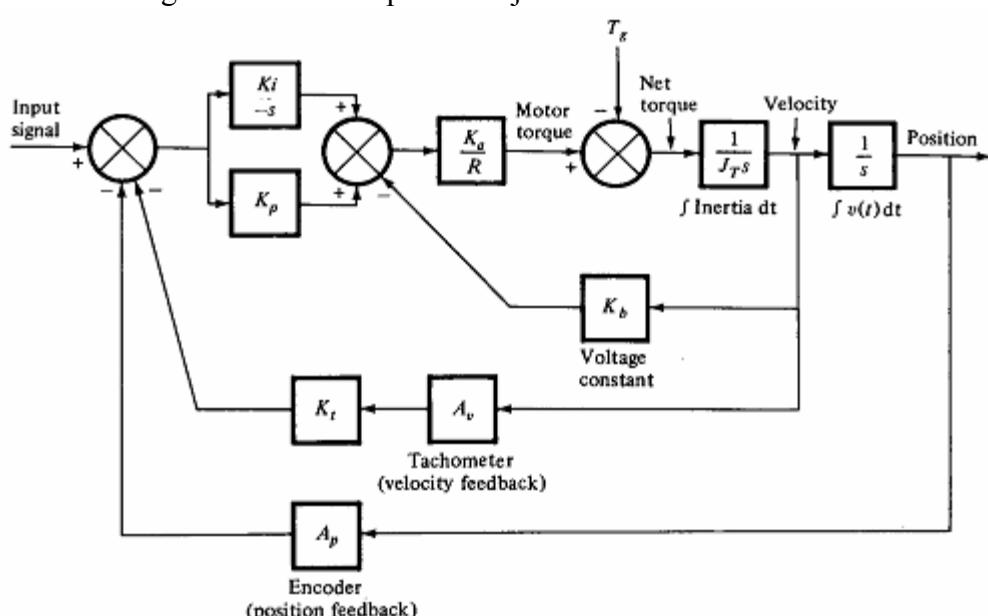


Figura 6 – Sistema de controle de posição e velocidade (Groover, 1986).

3. Conclusão

Esta pesquisa explorou a concepção de um sistema didático onde é possível visualizar o processo de montagem, de acordo com as necessidades do usuário, de diferentes produtos dentro de um ambiente de manufatura integrada. O sistema foi particionado em interface com o usuário o qual não foi explorado neste artigo; placa de interface que é o elo de comunicação entre o usuário e o sistema; e o armazém contendo manipulador e a prateleira para estoque das partes dos veículos. Este tipo de sistema proporciona em um ambiente acadêmico uma aproximação realista praticada pelas empresas de manufatura que buscam na automação o suporte necessário para uma melhor produtividade na fabricação de seus produtos. Ela também explora a importância da necessidade dos sistemas atuais de manufatura serem flexíveis evitando dessa forma desperdício de tempo na preparação do ferramental necessário para a fabricação dos produtos.

Referente a parte de Robótica há necessidade de garantir precisão através do servoposicionamento. Isto é garantido pela placa de interface e o comando apropriado do módulo de controle. O que garante a precisão além do controle é a informação vinda dos sensores que nesse caso são os encoders. A interpolação de trajetórias fornece a condição apropriada para o controle em trajetória contínua. No caso específico do ASRS não há manipulação além de pegar um objeto e colocar no local apropriado. Isto ocorre porque as montagens são muito simples. O controle em tempo real da unidade depende diretamente da arquitetura usada para a placa de interface e controle.

Como o sistema é de concepção modular o barramento de comunicação pode ser substituído e/ou adaptado para outros tipos de barramentos industriais.

4. Referências

- Atmel, AT89 “series hardware description” – Atmel Corporation, 12/1997.
- Seixas, C.F., “Notas de aula de redes de comunicação”, Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia Eletrônica, 2002.
- Krug, M.R., Lubaszewski, M. S., -“Implementação de Auto-Teste Integrado em um Controlador Escravo PROFIBUS” – 1999.
- Oshsner, M., Schrier, M., “To fieldbus or not to fieldbus”. In: In Tech, The International Journal for Measurement and Control, Outubro 1997, pp 44-48.
- Stewart, J. W., Miao, K. X., “The 8051 Microcontroller, Hardware, Software and Interfacing”, Prentice-Hall, 1999.
- Groover, M.P.; Weiss, M.; Nagel, R.N.; Odrey, N.G. “Industrial Robotics: Technology, Programming and Applications”, McGraw-Hill, Inc, 1986.
- Schilling, R.J. “Fundamentals of Robotics, Analysis and Control”, Prentice Hall, 1990.
- Lewis, F.L.; Abdallah, C.T.; Dawson, D.M. “Control of Robot Manipulators”, Mcmillan Publishing Co., 1993.

DESIGN OF AN EDUCATIONAL KIT FOR INTEGRATED MANUFACTURING ENVIRONMENT

Osiris Cancigliari Junior – osiris@rla01.pucpr.br
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho
CEP 80215-030 – Curitiba – Paraná

Alcy Rodolfo dos Santos Carrara – carrara@rla01.pucpr.br
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho
CEP 80215-030 – Curitiba – Paraná

Alexandre Casella – avcasella@ig.com.br
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR
Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho
CEP 80215-030 – Curitiba – Paraná

Abstract: *The accessible cost of mini and microcomputers, make almost all the small and medium companies use computer applications to execute their projects. This new work methodology has forced designers to use the computer to input all data referring to parts, including 3D drawing, and so on, making easier the registration of the necessary information for the whole manufacture of industrialised products. These tools are very important for any designer, engineer which acts in the areas of engineering. Because of this, there are more and more schools, which are interested in formed good professionals, investing in computer labs to fulfil the market necessities. These schools aimed to offer to the community prepared professionals to deal with the everyday challenges. Observing the subjects in the mechatronics and production systems engineering courses, they have been using each time more computers and software tools in theirs programmes. This article deals with the conception of a didactic kit illustrating in a small way in the integrated environment where the teaching of CAD/CAM subjects are fundamental, configuring an Automated Storage and Retrieval System (ASRS), where some of basic operations of the environment are implemented.*

Keywords: *Manufacturing Integrated System, ASRS, Teaching Methodology.*