

POSICIONAMENTO INTELIGENTE DE UM BRAÇO ROBÓTICO

Cristiany N. Moscoso do Amaral Ferreira

Everaldo Fernandes Monteiro

José Homero Feitosa Cavalcanti

Universidade Federal da Paraíba – CCT/COPIN/NEUROLAB-CT/DTM

Av. Aprígio Veloso,882 – Campus – 58.109-970 Campina Grande, PB

E-mail: homero@dsc.ufpb.br

Resumo

Neste trabalho descreve-se o projeto, a implementação, a montagem de um protótipo, e os resultados experimentais obtidos de um Sistema de Posicionamento Inteligente de um braço mecânico utilizado para mover as peças sobre um tabuleiro de xadrez. O Sistema é baseado em técnicas de Inteligência Artificial, utilizando Lógica Fuzzy cujas regras e axiomas foram obtidas a partir da observação (analogia) dos movimentos das mãos de um jogador (simetria) durante a manipulação das peças numa partida de xadrez. Serão apresentados alguns detalhes da construção do braço mecânico e os resultados experimentais obtidos do movimento de peças no tabuleiro de xadrez.

Palavras-chave: Sistemas Inteligentes, Robótica e Lógica Fuzzy.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente os robôs possuem liberdade para realizar determinadas tarefas de acordo com o meio a que pertencem, como por exemplo, na exploração espacial, na manipulação de amostras (ampolas) em análises biomédica e outros. Esses robôs devem perceber o meio em que estão inseridos e modificar suas ações para realizar tarefas específicas, através de um comportamento inteligente. Um dos temas de grande interesse na robótica, é o posicionamento de braços robóticos durante a execução de uma tarefa de manipulação de objetos. Muitas tarefas exigem que os movimentos sejam executados dentro de um tempo e uma trajetória rigorosamente precisos. Porém, algumas vezes as tarefas a serem executadas não necessitam de tal precisão, mas por outro lado necessitam de um grau de adaptabilidade e flexibilidade próximo aos encontrados nos seres humanos. Portanto, o estudo de técnicas que empregam a adaptabilidade em sistemas robóticos se mostra interessante principalmente quando necessita-se que esses sistemas desempenhem tarefas nocivas aos seres humanos e que apresentem um comportamento variável. A manipulação de amostras em laboratórios de análise clínica se enquadra neste tipo de tarefa. Entretanto é possível apresentar um estudo de sistemas robóticos através de problemas semelhantes com fácil adaptação para esses ambientes atípicos e que pelas próprias características, não suportam a presença de terceiros.

No nosso laboratório foi desenvolvido um manipulador robótico com três graus de liberdade que está sendo utilizado para testes experimentais de sistemas de controle inteligente (Moscoso et ali, 1999).

Apresenta-se um sistema robótico projetado para o posicionamento de peças de xadrez em um tabuleiro, descrevendo-se todas as partes do protótipo do manipulador robótico com três graus de liberdade e uma garra (ver figura 1), bem como o Sistema Inteligente (SI) responsável pelo controle inteligente do braço. Apresenta-se também uma análise dos resultados experimentais obtidos.

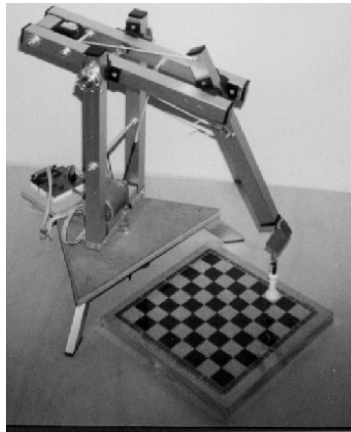


Figura 1. Fotografia do robô AUTOXAD

2. ARQUITETURA DO AUTOXAD

O AUTOXAD é composto de uma base, três braços (S1,S2 e S3) e uma garra (ver Craig, 1986), conforme ilustrado na figura 2. As juntas dos braços são acionadas por motores de passo, sendo que a junta 1, responsável pelo movimento do braço S1, gira em torno da normal ao Eixo Base (ver figura 3), executando movimentos para a direita e esquerda. A junta 2, responsável pelo movimento do braço S2, executando movimentos para cima e para baixo e a junta 3, responsável pelo movimento do braço S3, executando movimentos também para cima e para baixo. A localização dos motores (M1,M2 e M3) é ilustrada na figura 2. O motor M1 movimenta o braço S1 através de um conjunto de roldanas. O motor M2 preso a base do braço S1 movimenta o braço S2 com um sistema de transmissão por cabos, e o motor M3 preso ao braço S2 movimenta o braço S3 também com um sistema de transmissão por cabos. O braço S3 possui uma garra eletromagnética (eletroímã) em sua extremidade.

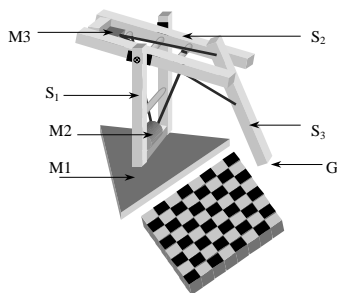


Figura 2. Desenho do AUTOXAD

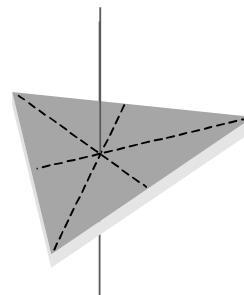


Figura 3. O Eixo Base

3. O AMBIENTE DE TRABALHO DO AUTOXAD

Convencionou-se que a frente do tabuleiro deve ser paralela ao lado frontal do triângulo equilátero da base (ver figura 4). Além disso, a reta perpendicular a esse lado deve passar pelo centro do tabuleiro dividindo-o em dois lados (lado da dama e lado do rei). Esses posicionamentos são necessários devido a análise de simetria que será feita para especificar os estados do sistema.

O tabuleiro é formado por oito colunas e oito linhas, ou seja sessenta e quatro casas. As colunas do tabuleiro foram nomeadas como T_D , C_D , B_D , D , R , B_R , C_R e T_R , onde T representa a coluna da torre, C representa a coluna do cavalo, B representa a coluna do bispo, D representa a coluna da dama e R representa a coluna do rei. O subscritor $_D$ e $_R$ indica a representação dos lados do tabuleiro, ou seja, lado da dama e lado do rei. As linhas foram enumeradas de um a oito. Cada casa é identificada pelo número da linha e da coluna, por exemplo, $3C_D$, $5R$, $8T_R$.

Analisando-se o tabuleiro pode-se chegar a algumas conclusões, sobre, a simetria entre os dois lados. Por exemplo, se a garra do AUTOXAD estiver posicionada no ponto X, marcado na figura 5 (no encontro das linhas tracejadas), o movimento para a coluna D é simétrico ao movimento para a coluna R, pois o manipulador utilizará apenas o motor M1 (da base) para deslocar a garra a uma das duas colunas. Partindo-se dessa análise é possível observar que todas as colunas de um lado do tabuleiro possuem uma coluna simétrica. Fazendo-se, agora, uma análise nas linhas do tabuleiro observa-se que existem linhas simétricas entre os dois lados, de cada jogador, no tabuleiro. Porém, essa simetria é obtida com o movimento dos motores M2 e M3, o que dificulta a utilização desta simetria em uma implementação prática. Supondo-se que o manipulador está posicionado na casa 4R e que deseja-se movimenta-lo para a casa 4B_R, então será necessário modificar o posicionamento dos braços S2 e S3, ou seja, para executar este movimento na mesma linha será necessário acionar o motor M2 para cima e M3 e para baixo. Considera-se o movimento igual para todas as colunas ($R \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow T$).

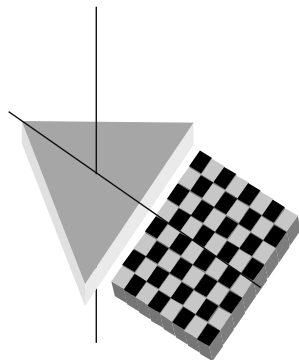


Figura 4. Posição das Estruturas

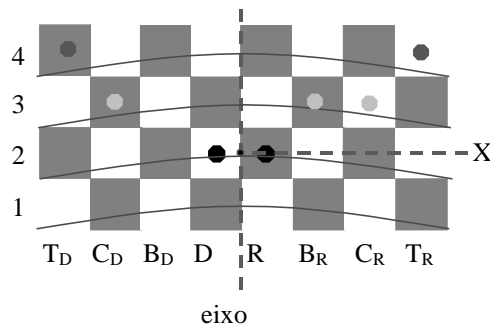


Figura 5. Casas simétricas na mesma linha

4. O SISTEMA INTELIGENTE (SI)

O SI é composto de uma base de conhecimento, onde estão armazenadas as informações, em forma de regras, sobre a localização de todas as casas do tabuleiro de xadrez; um módulo Fuzzy [ZAD88] que permite a inferência sobre as regras; e um módulo ATUADOR encarregado do movimento dos braços do robô. O SI foi implementado utilizando a linguagem de programação C++ Builder da Borland. A cada movimento do AUTOXAD foi associada uma meta ou objetivo. A meta do sistema foi planejada, a partir da analogia de uma

situação do mundo real, isto é, baseou-se na observação dos movimentos realizados por um jogador de xadrez. Com isso, foi possível predefinir uma seqüência de movimentos necessários para a realização da meta desejada. Definiu-se quatro estratégias: IDENTIFICA, PEGA, MOVE E SOLTA. A estratégia IDENTIFICA, localiza a posição da peça; PEGA, movimenta o robô para a posição desejada e pega a peça; MOVE, movimenta a peça para a casa desejada; e SOLTA, a garra solta a peça no lugar determinado.

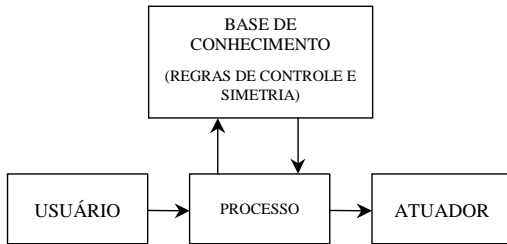


Figura 6. O Diagrama do SI

Essas estratégias foram implementadas em forma de tarefa para que fosse possível executá-las através de um escalonamento em tempo real. A cada tarefa foi associado um descritor. Os descritores são representados pela declaração $descr(id, st, temp, freq)$ onde, id é a identificação da tarefa; st , indica o estado da tarefa (executando=-1, bloqueada=0, e pronta=1); tempo, o tempo de ativação da tarefa em ms; e $freq$, intervalo de tempo em que a tarefa será novamente ativada (Cavalcanti e Alsina, 1997).

Observou-se que para que o SI possa movimentar corretamente o braço, o sistema dependerá de um conhecimento prévio de seu ambiente de trabalho, isto é, deverá ter o conhecimento do tabuleiro e suas casas, as peças utilizadas no jogo, a posição inicial da garra no tabuleiro (centro), e outras informações. Isto significa que o sistema necessita de uma base de conhecimento composta por dados e regras para que o manipulador consiga alcançar a sua meta com êxito. A base de conhecimento deverá também receber as posições simétricas existentes.

A cada movimento das peças no tabuleiro de xadrez foi associado uma casa fonte e uma casa destino. Por exemplo, $3C_D \rightarrow 3B_R$, indicando o movimento de uma peça vinda da terceira linha da coluna do cavalo da dama (fonte) para a terceira linha da coluna do bispo do rei (destino). Foram associados variáveis Fuzzy a essas especificações.

Para as colunas foram associadas duas variáveis, uma discreta (θ_c) e uma variável fuzzy (θ_{cf}) (variável lingüística). O conhecimento da posição de cada coluna no tabuleiro é baseada no conhecimento do tabuleiro e na função de pertinência (ver figura 7). O mesmo foi feito para o conhecimento das linhas.

5. Posicionamento do Eixo do Motor Base (elo L1)

O posicionamento da garra e das peças sobre o tabuleiro é verificado por um sistema de visão não descrito neste trabalho. Foram desenvolvidas algumas regras nebulosas (ver quadro 1) para o reconhecimento das casas fontes e destino durante o movimento de peças no tabuleiro.

No posicionamento da garra do ROBOXAD utilizando SIMETRIA, inicialmente deve-se especificar o posicionamento das casas fonte e destino. Por exemplo, sabendo-se que a peça_fonte está em $3C_D$ e a casa_destino é $3B_R$, o AUTOXAD detecta que o lado_fonte=D, o

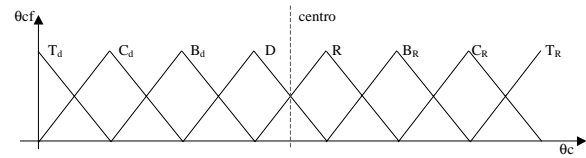


Figura 7. Função de pertinência da posição da coluna

lado_destino=R, a linha_fonte=3, a linha_destino=3, a coluna_fonte=C e a coluna_destino=B. O módulo que analisa a SIMETRIA no movimento da peça da sua casa fonte para a casa destino é apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Determinação da simetria

```

SIMETRIA=0
if (posicionado) //Garra posicionada sobre uma casa
then
  if(linha_fonte == linha_destino) //Casas fonte e destino na mesma linha
  then
    if(lado_fonte != lado_destino) //Lados da dama e do rei
    then
      if(coluna_fonte==coluna_destino || coluna_fonte==R || coluna_fonte==D)
      then SIMETRIA = 1

```

Conhecendo-se a existência de SIMETRIA no movimento da garra a seguinte regra Fuzzy e sua tarefa associada representam o movimento do motor da base do AUTOXAD.

```

if (SIMETRIA==1)
then motor base (M1)

```

No caso de SIMETRIA=0 (não há simetria), o movimento do AUTOXAD deverá ser feito pelos motores M1, M2 e M3. Na figura 5 ilustra-se um possível movimento de peças entre as casas $3B_R$ para $3C_R$. O AUTOXAD movimenta os três motores para ajustar o posicionamento da peça. Ele desloca o motor base (M1) na direção da casa_destino. A seguir, ele movimenta o braço S2 para cima e o braço S3 para baixo, posicionando a garra sobre a casa $3C_R$. O mesmo tipo de movimento é feito para o posicionamento nas casas da mesma linha sem simetria.

Na figura 8 ilustra-se a representação do posicionamento da garra do manipulador em relação ao centro das casas do tabuleiro de xadrez. Denomina-se R a distância entre o eixo base e a primeira linha do tabuleiro. A variável x representa a metade do comprimento da linha ou da coluna de cada casa do tabuleiro. Supondo-se que inicialmente a garra esteja sobre o centro da casa 2R com deslocamento x no eixo X e 3x, no eixo Y. A distância da garra ao eixo base do manipulador é representada por $L1 = \sqrt{(R + 3x)^2 + x^2}$.

O ângulo do plano formado pelos braços L2 e L3 em relação ao eixo base é dado pela eq.1. Observe-se que se deve conhecer R e x para se encontrar o ângulo θ_1 . O motor de passo da base do AUTOXAD é conectado, via uma correia, a um disco rígido que está acoplado ao eixo da base. A relação dos raios dos círculos do motor de passo e do disco é igual a 9. Sabendo-se que o motor de passo possui um passo de 7.5 graus, necessitando de 48 passos para uma rotação, calculam-se $D=9*48=432$ passos para uma rotação do disco (ou 360°). Calculou-se 1,2 passos/grau. Por exemplo, para $\theta=15^\circ$, o número de passos é $np=1,2*15=18$ passos.

$$\theta_1 = \arctg\left(\frac{x}{(R + 3x)}\right) \quad (1)$$

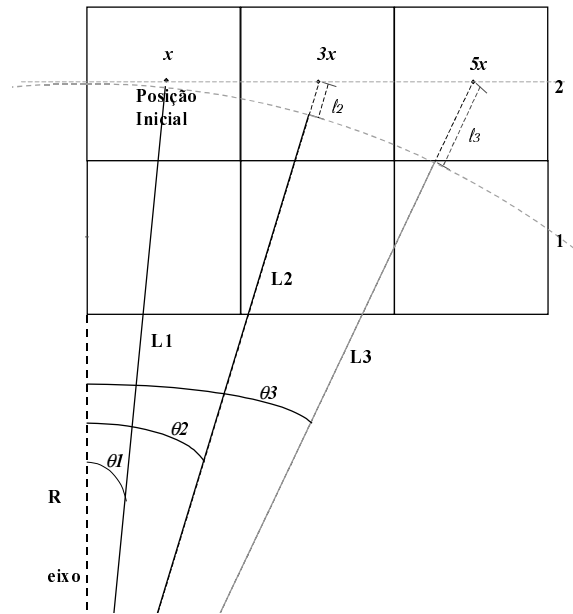


Figura 8. Representação do posicionamento do manipulador

6. Posicionamento dos Eixos dos Motores dos Elos L2 E L3

Na figura 9 apresentam-se dois desenhos no plano cartesiano dos elos L2 e L3. O plano cartesiano é perpendicular ao eixo base do AUTOXAD. Observe-se que J2 está na origem dos eixos X e Y. Considere-se que o braço L2 faz um ângulo θ_2 em relação ao eixo X e L3 faz um ângulo θ_3 em relação ao eixo X, e que a garra do braço L3 está sobre o eixo X. Na figura 9a os elos L2 e L3 possuem o mesmo comprimento, enquanto na figura 9b, eles são diferentes. Utilizando-se geometria básica consegue-se calcular os ângulos θ_2 e θ_3 sendo conhecido o ponto em que a garra encosta no eixo X. Os valores dos senos dos ângulos θ_2 e θ_3 são mostrados na eq.2 e eq.2. A partir das eq.2 e eq.2 obtém-se a relação entre os senos dos ângulos θ_2 e θ_3 mostrados na eq.2. Supondo-se conhecido θ_2 , o valor de θ_3 pode ser calculado utilizando a eq.5.

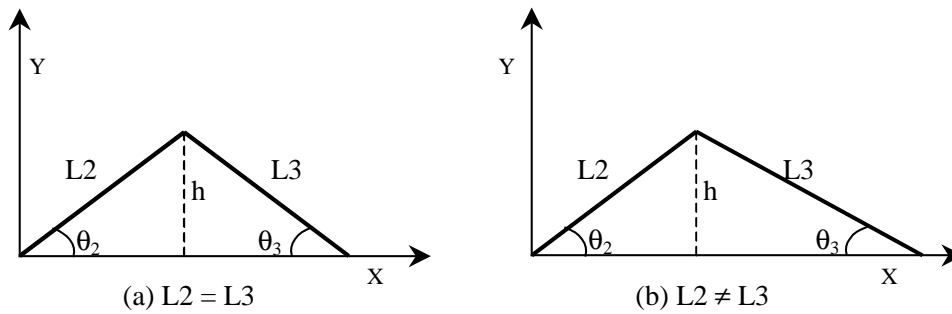


Figura 9. Representação do posicionamento dos elos L2 e L3 no plano cartesiano

$$\text{sen } \theta_2 = \frac{h}{L_2} \tag{2}$$

$$\text{sen } \theta_3 = \frac{h}{L_3} \tag{3}$$

$$\frac{\text{sen } \theta_2}{\text{sen } \theta_3} = \frac{L3}{L2} \quad (4)$$

$$\text{sen } \theta_3 = \frac{L2}{L3} \text{sen } \theta_2 \quad (5)$$

Para que a garra seja movida sobre o eixo X, sobre o plano em que está o tabuleiro de xadrez, os valores dos ângulos θ_2 e θ_3 devem ser iguais. Esta condição é implicitamente especificada na forma de regra Fuzzy quando $\theta_2 = \theta_3$. Na figura 10 apresenta-se o desenho no plano cartesiano de L2 e L3 quando a garra é movimentada sobre o plano do tabuleiro de xadrez. Se os elos L2 e L3 possuírem o mesmo comprimento, a partir da eq.5 obtém-se $\theta_3 = \theta_2$. A regra fuzzy mostrada na eq.6, utilizada no Sistema Inteligente do AUTOXAD, ilustra a movimentação da garra sobre o eixo X quando $\theta_3 = \theta_2$. A variável booleana *garra_sobre_eixo_X* indica que a garra está posicionada sobre o eixo X das coordenadas cartesianas. O AUTOXAD possui braços com comprimentos iguais ($L2=L3$).

$$\text{if } L2==L3 \text{ and } \theta_2==\theta_3 \text{ then } \text{garra_sobre_eixo_X} \quad (6)$$

$$\text{if } \text{lado_fonte}==\text{lado_destino} \text{ then } \theta=\theta_destino-\theta_fonte \quad (7)$$

$$\text{if } \text{lado_fonte}!=\text{lado_destino} \text{ then } \theta=\theta_destino+\theta_fonte \quad (8)$$

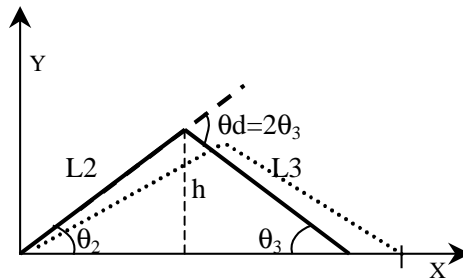


Figura 10. Movimento da garra sobre o plano

7. Resultados Experimentais

A figura 11 ilustra a representação do posicionamento da garra do manipulador sobre as posições fonte ($2R$) e destino ($2C_R$). O primeiro passo do AUTOXAD é verificar, utilizando as regras do quadro 1, se a posição_fonte= $2R$ é simétrica em relação a posição_destino= $2C_R$. Após a confirmação de que as posições fonte e destino não são simétricas deve-se calcular a distância a ser percorrida pelos elos L2 e L3 e o ângulo θ a ser rotacionado pelo elo L1 na direção da posição destino. Na tabela 2 apresentam-se os dados de posicionamento de cada posição, ou seja, os dados de posicionamento da casa fonte e os dados de posicionamento da casa destino. Com esses dados pode-se calcular o deslocamento que deve ser feito pelos elos L1, L2 e L3.

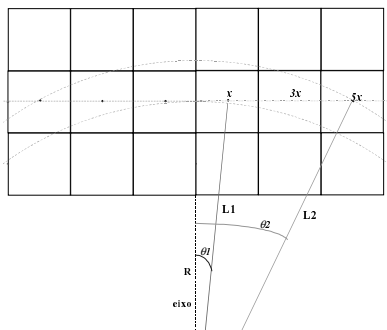


Figura 11. Representação do posicionamento da garra nas posições $2R \rightarrow 2C_R$.

Tabela 2. Coordenadas das posições 2R e 2C_R.

Posição	R	x	y
Fonte	15	2	6
Destino	15	10	6

O cálculo dos deslocamentos que devem ser feito pelos elos L2 e L3 é feito com a fórmula $\sqrt{(R+y)^2 + x^2}$. Obtem-se como resultado: L1=21,09 cm e L2=23,26 cm. A distância a ser percorrida pelos elos L2 e L3 é dada por $l=L2-L1$. Obtem-se $l=2,17$. Sabendo-se que o deslocamento em passos de L3 é duas vezes o deslocamento de L2. Então a quantidade de passos a serem percorridos pelos motores de L2 e L3 são 4 e 8 passos respectivamente. O ângulo rotacional θ_1 é calculado pela regra fuzzy mostrada na eq.7 ($\theta=\theta_{\text{DESTINO}}-\theta_{\text{FONTE}}$), então $\theta = 20,02^\circ$, que corresponde a 24 passos a ser percorrido pelo elo da base (ou L1).

8. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se o projeto, implementação e resultados experimentais obtidos do protótipo de um robô de três graus de liberdade desenvolvido para o posicionamento de um manipulador robótico a ser aplicado em laboratórios de análise clínicas. Utilizou-se um tabuleiro de jogo de xadrez como plataforma de testes do robô. Apresentou-se detalhes do Sistema Inteligente que foi desenvolvido para o controle do robô. Utilizando-se o Sistema Inteligente mostrou-se que é possível o posicionamento do braço do robô baseado na simetria das casas do tabuleiro de xadrez e no posicionamento especial dos dois últimos elos do robô. A utilização da lógica fuzzy possibilitou a representação qualitativa e quantitativa da posição dos braços do robô, permitindo o desenvolvimento de um sistema inteligente para o controle do robô. Atualmente desenvolve-se um sistema inteligente multi agente para controle deste robô.

9. REFERÊNCIAS

- Ferreira, C. N. M. do Amaral e Ferreira, J. . da Silva e Cavalcanti, J. H. F. e Alsina, P. J. e Franca, J. E., 1999, “Posicionamento Inteligente De Um Braço Robótico”, COBEM’99 - Congresso Brasileiro de Mecânica, Águas de Lindóia, SP.
- Cavalcanti, J. H. F. e Alsina, P. J., 1997, “Load Exchange Between two Robots”, Workshop on Intelligent Robotcs – WRI’97, Brasília, Agosto de 1997, Pp. 80-88.
- Craig, John J., 1986, “Introduction to Robotic Mechanics & Control”, Addison-Wesley Publishing Company.
- McComb, Gordon, 1987, “Robot Builder’s Bonanza 99 Inexpensive Robotics Projects”, McGrawHill. .
- Zadeh L.A., 1988, “Fuzzy Logic”, IEEE Computer Mag., pp83-93. Publicado também In: Anderson, J.A.; Rosenfeld, E. (Ed.) Neurocomputing Foundations of Researchs, pp.177-194, The MIT Press, Cambridge, USA.