

Capítulo 5

Robôs Industriais

DEFINIÇÃO

Um manipulador é uma emulação mecânica da mão ou braço humano. É um dispositivo antropomórfico. Os primeiros robôs funcionavam através da “teleoperação”, que é uma abordagem de manuseio na qual um manipulador é acoplado firmemente ao braço de um operador humano, possibilitando ao operador efetuar tarefas em ambientes inadequados para o homem (p.ex. uma atmosfera radioativa).

Nos robôs modernos, o operador humano é substituído por um dispositivo programável (p.ex. um computador), que controla os movimentos do equivalente mecânico do manipulador na teleoperação. Robôs normalmente desempenham tarefas em vários ambientes, dentre os quais incluem-se ambientes industriais e marinhos.

Um robô industrial é um manipulador programável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças ou ferramentas por meio de movimentos programados para o desempenho de uma variedade de tarefas. O robô, portanto, representa uma automação flexível, em contraste com a automação fixa (ou dedicada), e portanto encaixa-se seguramente na implementação do CIM.

CLASSIFICAÇÃO DE ROBÔS

Existem basicamente dois métodos de classificação de robôs. Um considera os seus atributos físicos ou geométricos, enquanto o outro refere-se ao modo no qual eles são controlados.

Classificação Geométrica

A indústria usa vários projetos de robôs que possuem vantagens e desvantagens. Em princípio, um robô deve possuir 3 *graus de liberdade* (GDL) para alcançar qualquer ponto no espaço. Entretanto, ele deve ter 3 GDL adicionais para manusear um objeto no espaço. Existem 5 classes geométricas de robôs, que são:

- Cartesiano (ou retangular) - geometria (x, y, z)
- Cilíndrico (ou tipo poste) - geometria (r, θ, z)
- Esférico (ou tipo polar) - geometria (r, θ, ϕ)
- Articulado (ou antropomórfico) - geometria $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$
- SCARA (“Selective Compliance Assembly Robot Arm”) - geometria $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$

Cada uma dessas classes é descrita de acordo com os primeiros 3 GDL. Cada um pode ser descrito em suas próprias coordenadas, que podem ser mapeadas para o sistema de coordenadas Cartesiano. A seguir é mostrada a caracterização matemática dessas configurações de robôs.

•Geometria cartesiana: o robô cartesiano (figura 5.1) possui juntas que movem-se nas direções ortogonais retangulares. É o modelo mais simples, e também é de fácil manuseio matemático. Esse robô é usado onde uma elevada precisão de posicionamento é necessária. Entretanto, ele tem um volume de trabalho limitado.

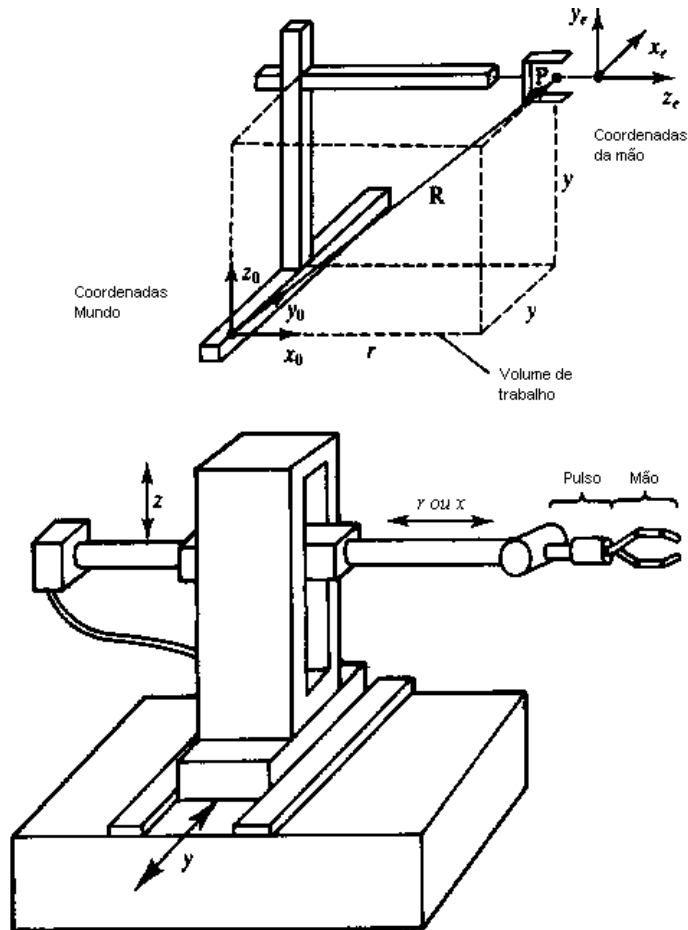


Figura 5.1. Robô cartesiano - 3 eixos lineares

•Geometria cilíndrica: esse robô possui uma junta rotacional e duas juntas translacionais. As primeiras três juntas desse robô correspondem às três variáveis principais do sistema de coordenadas cilíndrico (figura 5.2).

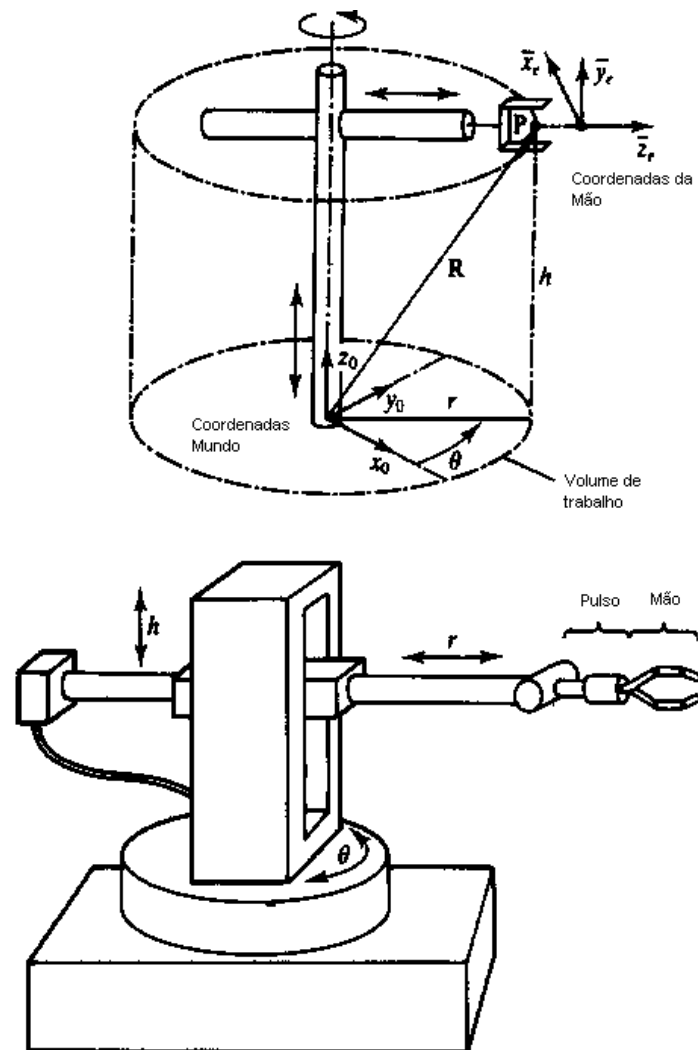


Figura 5.2. Robô cilíndrico - 2 eixos lineares e 1 eixo rotacional

Se a posição do ponto de referência da mão for especificado em (θ, h, r) , então a posição será facilmente conhecida todas as vezes, mas se a posição for especificada em (x, y, z) , que é o caso comum, então será necessária uma transformação para relacionar as duas coordenadas. Usando-se uma abordagem não rigorosa, e resolvendo para as primeiras 3 juntas, o eixo z será visto aqui como sendo o mesmo que o eixo vertical do robô, isto é,

$$z = h$$

O plano xy é perpendicular ao eixo z e é, portanto, paralelo ao plano no qual θ gira (em torno do eixo z), e também é paralelo ao plano no qual r estende-se. Serão feitas agora as seguintes transformações cinemáticas:

$$x = r \cos\theta \tag{5.1}$$

e

$$y = r \operatorname{sen} \theta \quad (5.2)$$

Esse robô é mais universal do que o robô cartesiano. Porém, ele possui menor precisão.

•Geometria esférica: esse robô possui uma junta translacional e duas juntas rotacionais. As primeiras 3 juntas correspondem diretamente às três variáveis principais do sistema de coordenadas esférico (figura 5.3).

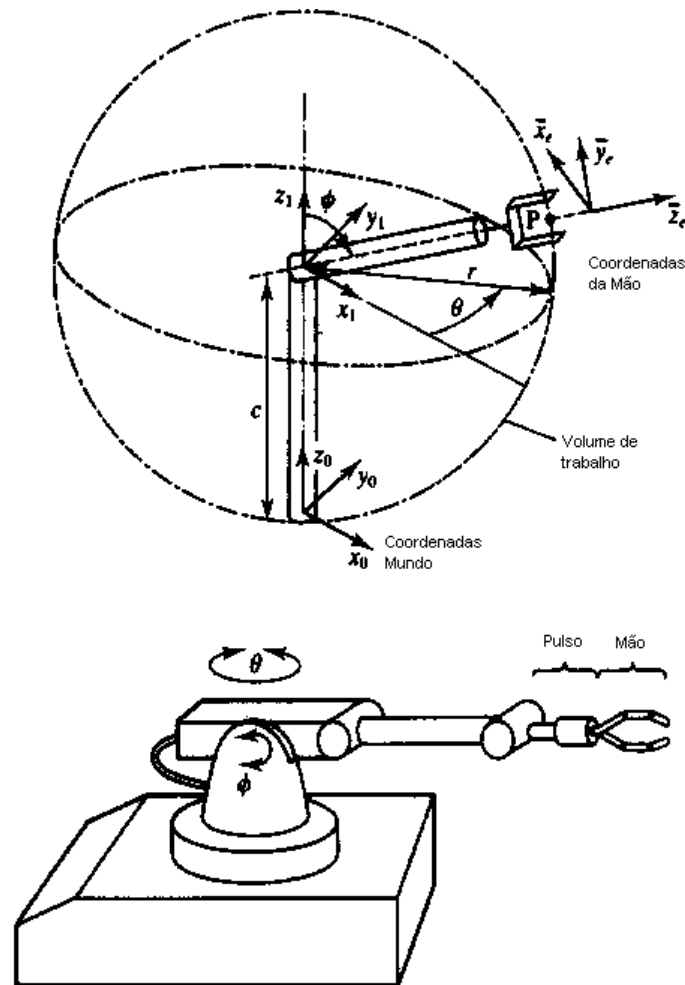


Figura 5.3. Robô esférico - 2 eixos rotacionais e 1 eixo linear

rotação = ϕ

rotação paralela ao plano de ϕ (rotação em torno do eixo z) = θ

alcance ou raio = r

Para conhecer-se a posição da mão, deve ser informada as coordenadas (ϕ, θ, r) . Entretanto, se a mão for especificada na posição (x, y, z) , então deve efetuar a seguinte transformação cinemática:

$$r' = r \operatorname{sen} \theta \quad (5.3)$$

$$z = r \cos \theta \quad (5.4)$$

$$x = r' \cos \theta \quad (5.5)$$

$$y = r' \sin \theta \quad (5.6)$$

De um modo não rigoroso, pode-se determinar quais as coordenadas das juntas (r , θ , ϕ) que devem estar na posição num certo ponto cartesiano. A partir das equações 5.3 a 5.6, obtém-se:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right); \quad r' = \frac{x}{\cos \theta} = \frac{y}{\sin \theta}$$

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{z}{r}\right)$$

A adição de uma segunda junta rotacional aumenta a versatilidade do robô. Entretanto, diminui a sua precisão.

•**Geometria articulada:** Esse robô possui três juntas rotacionais. A transformação da geometria articulada (figura 5.4) para o sistema cartesiano é uma tarefa muito mais complexa do que os casos anteriores. O robô é muito versátil. Esse tipo de geometria é muito boa para casos onde o robô deve ultrapassar obstáculos. Entretanto, sua precisão é menor do que a dos robôs anteriores.

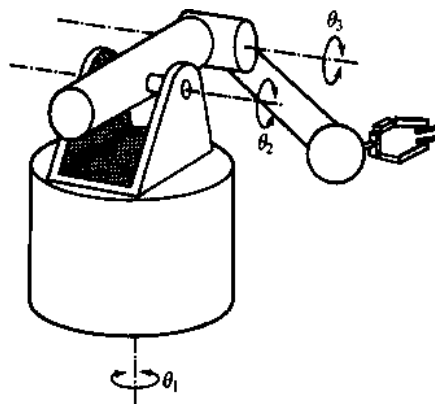


Figura 5.4. Robô articulado - 3 eixos rotacionais

•**SCARA:** Esse projeto foi desenvolvido em 1979 numa universidade japonesa (Yamanashi) para operações de montagem. Os movimentos das juntas principais do robô possuem natureza plana. O robô possui juntas de ombro e cotovelo que giram em torno dos eixos verticais. A configuração fornece uma rigidez significativa na direção vertical ao mesmo tempo que permite uma resposta rápida no plano horizontal (figura 5.5). Os movimentos de todas as juntas principais são rotacionais, e portanto a matemática não é trivial. Esse robô é muito bom para tarefas precisas de montagem.

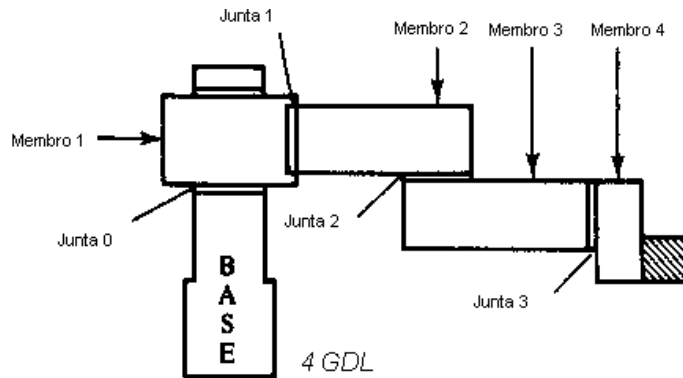


Figura 5.5. Robô SCARA - 3 eixos rotacionais

Classificação de Controle

Existem dois métodos de controlar-se um robô. Eles incluem técnicas com malha aberta e com realimentação. O controle com malha aberta usa fins-de-curso mecânicos para fornecer os limites de movimentação, e quando o comando de movimento é enviado, a junta é acionada até que o fim-de-curso é alcançado. Essa técnica é obsoleta. A técnica de controle com realimentação consiste do uso de uma arquitetura de realimentação para responder às mudanças de posição das juntas.

Existem dois tipos de técnicas de controle com realimentação: trajetória ponto-a-ponto e contínua. A primeira consiste da especificação do ponto inicial e do ponto final (e freqüentemente pontos intermediários) do movimento do robô exigindo-se alguma realimentação desses pontos. Essa técnica é usada para operações como soldagem por resistência, pega-e-põe, etc. O controle por trajetória contínua requer que a garra (“end effector”) do robô siga uma trajetória estabelecida desde o ponto inicial até o ponto final. Essa técnica é aplicada em soldagem a arco e pintura.

Robôs de trajetória contínua normalmente seguem uma série de pontos espaçados na trajetória, e esses pontos são definidos pela unidade de controle em vez do programador. Em muitos casos, a trajetória entre os pontos são linhas retas.

PRINCIPAIS COMPONENTES DE ROBÔS

Um robô é um equipamento muito complexo que pode conter componentes mecânicos, elétricos, pneumáticos, hidráulicos e microeletrônicos. Os principais componentes de um robô são os seguintes:

- sistema de acionamento;
- sistema de controle;

- sistema de medição;
- sensores.

Sistema de Acionamento

O sistema de acionamento é responsável pela conversão e transmissão da potência necessária para todos os eixos de movimentação. Existem três tipos principais de sistemas de acionamento usados em robôs: hidráulico, pneumático e elétrico.

A escolha de um tipo de acionamento no projeto e configuração de um robô depende bastante do tipo de tarefas e do ambiente no qual o robô vai trabalhar. Cada acionamento possui características que tornam-no atrativo ou não para cada aplicação. Por exemplo, o acionamento hidráulico é excelente para cargas pesadas, porém poderão ocorrer vazamentos, e portanto não podem ser usados em ambientes onde a limpeza é uma necessidade fundamental. Semelhantemente, o acionamento pneumático é limpo e pode ser usado para cargas pesadas, mas ele não é confiável devido a possíveis vazamentos de ar. O acionamento elétrico é excelente para controle analógico e digital mas poderá não ser adequado se o ambiente for explosivo.

Sistema de Controle

O sistema de controle fornece uma seqüência lógica para o programa de operação. Ele fornece os valores teóricos requeridos para cada passo do programa, e mede continuamente a posição real durante o movimento, e ele processa a diferença entre a medida teórica e a real.

O controlador

O controlador é normalmente um microprocessador ou um computador e possui as seguintes funções:

- **Realimentação**: Dada a posição real e/ou velocidade do atuador, ele determina o sinal de acionamento apropriado para mover o atuador para a posição desejada.
- **Cinemática**: Dada o estado real dos atuadores (posição e velocidade), ele determina o estado real da garra. Da mesma forma, dado o estado real da mão, determina o estado desejado de cada atuador.
- **Dinâmica**: Dadas as cargas no braço (inércia, atrito, gravidade, aceleração), ele usa essas informações para ajustar a operação de realimentação para atingir um melhor desempenho.
- **Análise das atividades através de sensores**: Dado o conhecimento das tarefas a serem executadas (p.ex. o aperto de uma porca), ele determina os comandos apropriados de movimento do robô. Isto pode ser feito através de técnicas de visão e de tato, ou medindo-se e compensando-se as forças aplicadas na garra.

Sensores

Sensores permitem os robôs interagirem com seus ambientes numa maneira adaptativa e inteligente. Existem inúmeros transdutores disponíveis que medem as variáveis físicas mais importantes da manufatura. Dentre os diferentes sensores; tem-se: de visão, táteis, de proximidade, ultra-sônicos.

Sensores de Visão

Sensores de visão são normalmente usados para visualizar a área de trabalho do robô para fornecer informações sobre o ambiente para o controlador, em tempo real. Eles podem também ser utilizados para aumentar as informações sobre a área de trabalho, para que o robô possa tomar decisões precisas. Finalmente, pode ser usado para confirmar a existência de certos elementos no espaço de atuação do robô (p.ex. peças). Essa última aplicação normalmente refere-se ao *reconhecimento de padrões* (i.e. comparação entre novas informações e informações existentes).

Sistemas de visão modernos possuem mecanismos que possibilitam adquirir-se modelos de objetos do usuário. Esses modelos podem ser uma representação de um objeto no sistema CAD, ou então desenhos de peças armazenados, e que são extraídos para serem combinados com as novas informações.

Visão de máquina refere-se aos dados de visão e sua conseqüente interpretação usando o computador. Um sistema típico de visão consiste de uma câmera e hardware de digitalização, um computador, e o software e hardware necessários para efetuar o processamento das informações de visão bem como ligá-las aos vários dispositivos. Uma imagem (p.ex. um desenho) é digitalizada, e então processada e analisada para o seu refinamento, e então infere-se as entidades geométricas envolvidas, que são então combinadas com dados existentes (ver figura 5.6).

O processamento e análise das imagens buscam reduzir os dados para interpretação. Certamente, dados imprecisos podem levar a grandes imprecisões nos dados, que por sua vez leva a imprecisões na posição e orientação do objeto. Uma imagem é normalmente filtrada para gerar uma imagem binária. Tal imagem binária sofre várias medições para reduzir os dados e produzir dados mais precisos. Pode-se alcançar dados da ordem de um milésimo do tamanho dos dados originais.

“Features” podem ser inferidas a partir dos elementos geométricos que são obtidos da aproximação da imagem original num padrão tal como o ilustrado na figura 5.7.

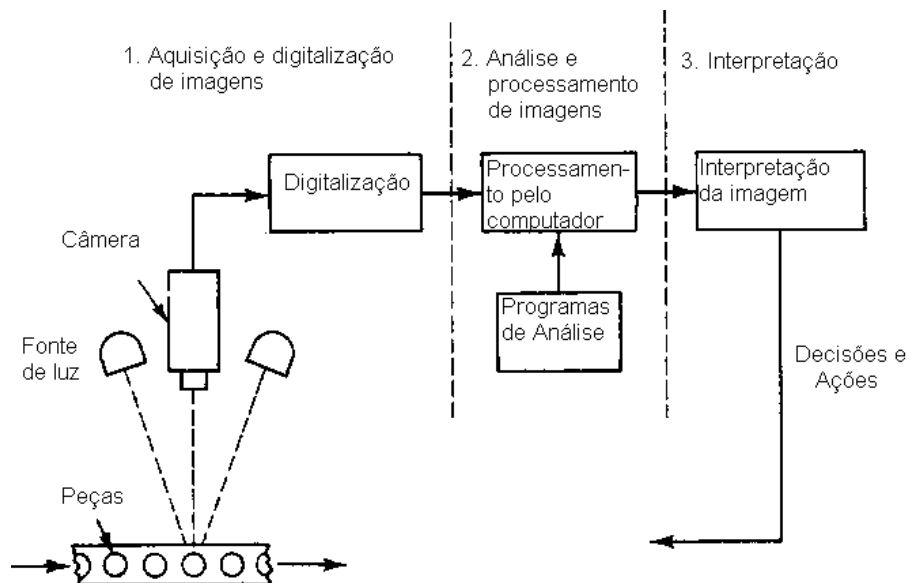


Figura 5.6. Funções básicas de um sistema de visão

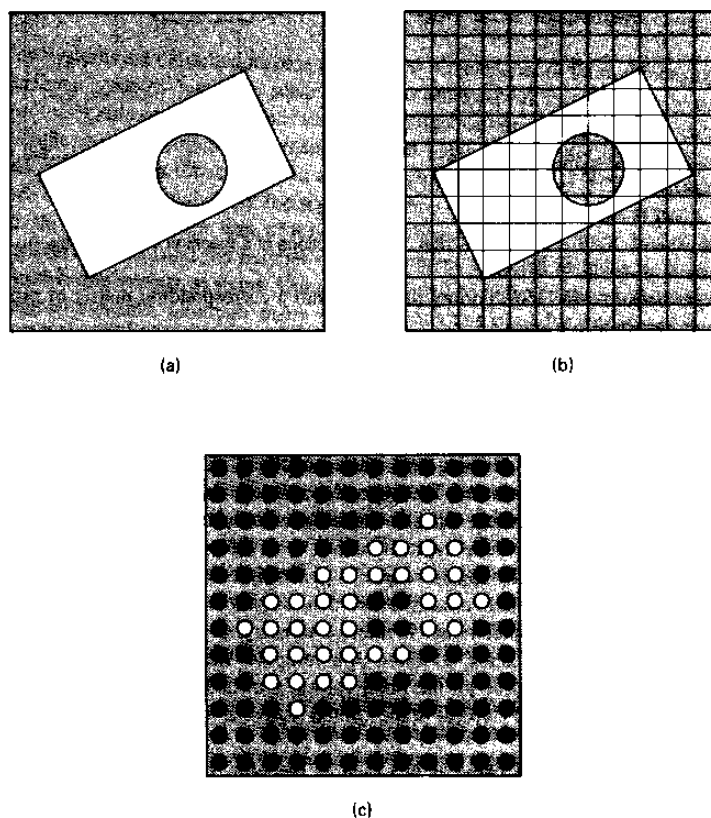


Figura 5.7. Dividindo-se a imagem numa matriz de pixels (“picture elements”), onde cada elemento possui uma intensidade de luz correspondente àquela porção da imagem (a) a cena; (b) matriz 12x12 de pixels superpostos; (c) intensidade dos pixels para a cena, ou preto ou branco.

No processamento de imagens 2-D, os elementos reconhecidos podem possuir as seguintes características: escalas de cinza (máximo, médio, mínimo), área, perímetro, comprimento, diâmetro, mínimo retângulo, etc. Características indiretas incluem: gravidade, número de furos, excentricidade, esbeltez, etc.

No caso de processamento de imagens 3-D, utiliza-se normalmente modelos de CAD. Visão estéreo é uma tentativa de obter uma imagem 3-D de um objeto, e tais imagens podem ser obtidas usando-se por exemplo duas câmeras.

A habilidade de um sistema de visão de reconhecer objetos com precisão depende de vários fatores, dentre os quais incluem-se:

- As características da câmera, tais como o campo de visão, comprimento focal, resolução, distorção geométrica, etc.
- A robustez do software utilizado.
- As características do computador utilizado.

Sensores Táteis

Normalmente, se objetos a serem manipulados forem delicados ou possuem problemas posicionais que não podem ser resolvidos com técnicas de visão, então um sentido de tato deve ser implementado para que se conheça os atributos da peça. Existem duas deficiências principais em sistemas de visão que tornam o tato atrativo em algumas aplicações. Essas deficiências são: baixa precisão e falta de habilidade para ver objetos escondidos. Devido à imprecisão, peças podem ser posicionadas fora de uma faixa aceitável de tolerância. Quando isto acontece, a posição precisa deve ser assegurada, e isto pode ser feito através do tato. Semelhantemente, o fato de que sistemas de visão são incapazes de ver a parte traseira de objetos, permitindo no máximo uma visão 2½-D, isto torna impossível a manipulação da parte traseira de objetos. Portanto, o uso de sensores táteis torna-se muito importante.

Sensores sofisticados tentam emular o sentido humano do tato. Tal sentido tem dois aspectos distintos: o sentido cutâneo, que refere-se à habilidade de perceber padrões textuais encontrados pela superfície da pele; e o sentido cinestético, que refere-se à habilidade humana de detectar forças e momentos.

O sensor tátil possui tipicamente a capacidade de detectar o seguinte:

- presença de objetos;
- forma, localização e orientação de peças;
- área de contato, pressão e distribuição da pressão;
- magnitude, localização e direção da força;
- magnitude, plano e direção do momento.

Um sensor tátil pode funcionar segundo diferentes princípios. Sensores típicos possuem a seguinte estrutura:

- a) Uma superfície tátil que consiste de uma matriz de pinos de pressão (piezoelétricos), resistores, capacitores variáveis ou dispositivos óticos.
- b) Um transdutor, que converte forças ou momentos locais em impulsos elétricos.
- c) Um multiplexador que conecta os elementos da matriz com um circuito de medição e amplificação.
- d) Uma interface de controle para trazer os dados medidos para o computador para avaliação.

Existem essencialmente dois tipos de sensores táteis: sensores de toque e de força. Os sensores de toque são usados geralmente para detectar a presença ou ausência de um objeto sem levar em conta a força de contato.

Os sensores de força medem forças localizadas. No caso de um sensor matricial, o computador avalia o padrão de toque com o auxílio de algoritmos similar àqueles de sistemas de visão.

Um outro tipo de sensor de força consiste daqueles utilizados para medir as forças no sistema robótico quando ele efetua as diversas operações. Forças que o robô usa na manipulação e montagem são normalmente de grande importância. Para medir tais forças, pode-se utilizar um pulso que consiste de uma célula de carga especial montada entre a garra e o pulso. Um outro método consiste em medir o torque exercido em cada junta, e isto pode ser feito medindo-se a corrente em cada um dos motores em cada junta.

Sensores de Proximidade

Tais sensores são usados para detectar as propriedades da superfície de um objeto sem tocá-lo. A estratégia típica consiste em detectar a presença ou ausência de uma superfície. Sensores de proximidade são usados para detectar colisões. Dentre os tipos de sensores de proximidade, tem-se:

- a) Faixa ótica, que projetam um feixe de luz plana sobre as superfícies do objeto, e a intensidade da luz que passa pelo objeto é medida por detectores, que podem ser por exemplo fotodiodos (figura 5.8);
- b) Triangulação, que projetam luz num certo ângulo com o objeto, e então, usando o triângulo criado pela projeção da luz, o objeto e os detectores, detecta a distância do objeto (figura 5.9).

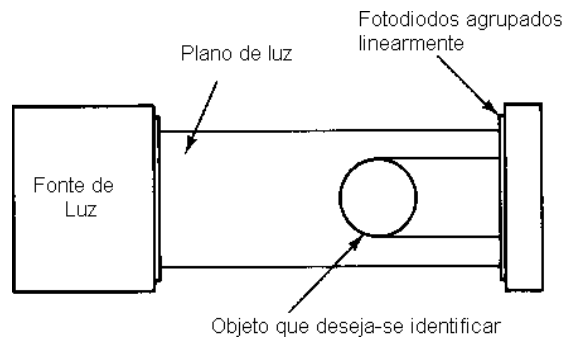


Figura 5.8. Dispositivo óptico de identificação por faixa de luz plana

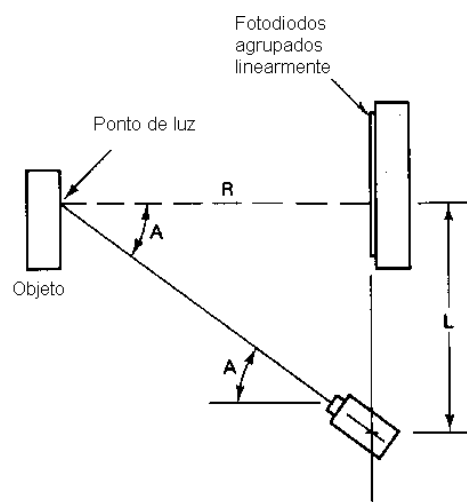


Figura 5.9. Princípio de triangulação usado na identificação de uma peça

Faixa Ultrasônica

O transdutor ultra-sônico é um outro sensor que é usado para determinar a distância de um objeto. Tal transdutor emite um pulso de som de alta frequência e então ouve-se o eco. Como a velocidade do som é conhecida, o tempo entre a emissão e a audição pode ser medido para fornecer a distância.

Infravermelho

Um sensor infravermelho pode ser usado para medir a presença ou ausência de um objeto entre os dedos da garra. O arranjo pode ser como mostrado na figura 5.10. Quando um objeto estiver localizado entre os sensores, a luz infravermelha emitida pelo transmissor será refletida para os receptores do arranjo dos transmissores. No caso onde a superfície do objeto for paralela ao arranjo transmissor, ambos os receptores detectarão uma quantidade igual de luz refletida. Se o objeto desvia do alinhamento paralelo, em relação à garra, sinais da superfície de diferente intensidade serão

recebidos. Tornar-se-á possível para o robô reposicionar sua mão para acomodar essa inclinação. O sensor infravermelho é também usado para determinar a proximidade de um objeto, avaliando-se a intensidade de dois sinais refletidos.

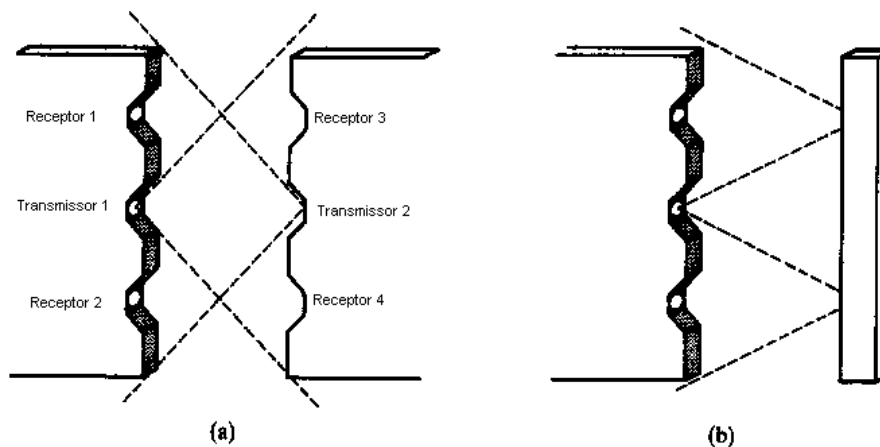


Figura 5.10. (a) Arranjo para o sensor infravermelho; (b) Detecção da presença de um objeto com um sensor infravermelho

GARRA (“END EFFECTOR”)

A garra é a parte do robô que faz a conexão com a peça. Existem dois tipos de garras: aquelas que seguram objetos, e aquelas que têm ferramentas especiais acopladas ao pulso do robô. As primeiras efetuam carregamento e descarregamento de máquinas, pegam objetos de um lugar e move-os para outro, ou então coloca-os em pallets. As garras que correspondem a ferramentas especiais são aquelas que efetuam tarefas como soldagem, pintura, usinagem, etc.

Diferentes Tipos de Sistemas de Garras

Garras podem ser dispositivos puramente de sujeição mecânica ou que seguram objetos ligando-os a ímãs, copos de sucção, adesivos, ganchos, etc.

Uma garra normalmente possui um mecanismo de atuação que não é considerado parte do robô, pois ele não altera a posição do sistema robótico. Garras normalmente operam através de “dedos” que abrem e fecham. Os dedos podem ser substituídos por dedos novos ou diferentes, introduzindo-se flexibilidade (ver figura 5.11). Quanto mais dedos, torna-se mais difícil o controle dos dedos e normalmente mais hábeis serão as garras.

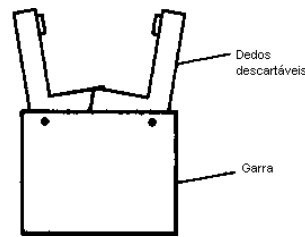


Figura 5.11. Uma garra com dois dedos

Atuadores na Garra

O mecanismo da garra efetua alguma forma de força na ação de segurar a peça pelos dedos. O acionamento da garra pode ser hidráulico, pneumático ou elétrico. A escolha de um método normalmente depende dos atributos do sistema robótico. Se um robô possui as faculdades de transmitir pressão de ar, então um atuador pneumático poderá ser ideal para a garra. Em geral, o controle dos sinais para regular a garra é fornecido controlando-se a transmissão da força de atuação. Realimentação por meio de sensores é normalmente necessária para indicar a quantidade de força sendo aplicada ao objeto segurado pela garra. Força pneumática normalmente usa o ar da fábrica através de um pistão. Apesar desse tipo de acionamento ser comum, tal força limita-se a operações de abrir e fechar.

Força hidráulica é menos freqüente devido aos seus inerentes vazamento. Entretanto, o acionamento hidráulico tem potencial para atingir uma maior força. Também é limitado a ações de abertura e fechamento da garra.

O acionamento elétrico possibilita a garra operar muitos dedos sob forças controladas e exercer controle realimentado. Isto é muito útil na manipulação de objetos não rígidos que requerem uma manipulação cuidadosa.

Projetos de Garras

Existem muitas abordagens para o projeto de garras. Normalmente, os projetos baseiam-se na estrutura cinemática pretendida para o dispositivo. Dentre tais projetos, incluem-se: engrenagem-cremalheira e haste-pivô. Geralmente, cada abordagem efetua a atuação de sujeição através de movimento pivotal ou prismático. A figura 5.12 é um exemplo de garra prismática, enquanto a figura 5.10 mostra vários mecanismos que resultam em ação pivotal para sujeição. Em cada figura, F_a representa a força aplicada que é transformada em força de sujeição F_g aplicada nos dedos.

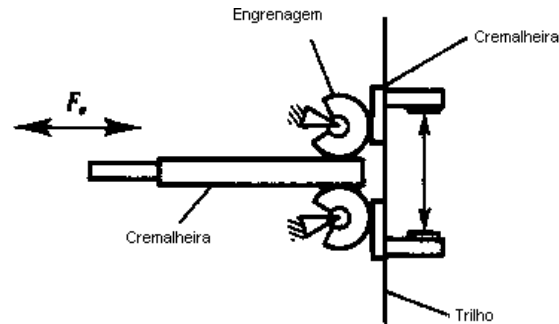


Figura 5.12. Garra com atuação do tipo engrenagem-cremalheira

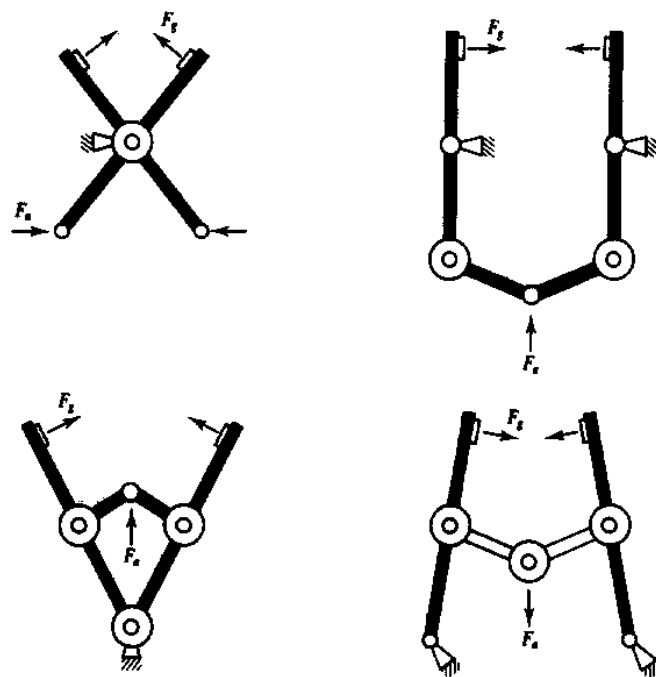


Figura 5.13. Algumas garras com mecanismos possíveis

PROGRAMAÇÃO DE ROBÔS

Programação de robôs consiste em descrever a seqüência dos movimentos e atividades do robô de forma a efetuar um conjunto de tarefas, e para ensinar o robô aqueles movimentos e atividades. As atividades incluem interpretação de dados de sensores, envio e recebimento de sinais e dados de outros dispositivos, ou atuação das juntas e garra. O ensino das trajetórias e atividades pode ser feito de duas formas: técnicas de “lead-through” (ou “ensinar mostrando”); ou técnicas baseadas em linguagens, ou por uma combinação de ambas.

Os métodos de lead-through são efetuados em modos *acionados* ou *não-acionados*. No modo não-acionado, o robô é movido manualmente até a posição desejada, enquanto o método acionado

permite que o robô seja guiado até o seu destino usando-se um ‘teach pendant’ para controlar os vários atuadores das juntas (figura 5.14).

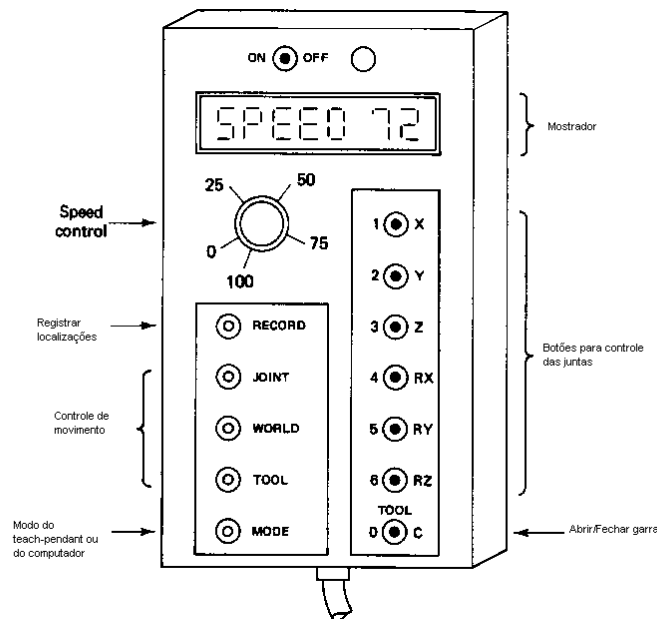


Figura 5.14. “Teach pendant” típico

Técnicas baseadas em linguagens de programação são bem similares à programação de computadores. Programas são normalmente especificados em algum tipo de linguagem, que pode ser de baixo ou alto nível. Tais linguagens requerem que o programador tenha experiência em programação de computadores, que é uma habilidade que trabalhadores no chão de fábrica geralmente não possuem.

O programador deve fornecer comandos no nível do robô, isto é, ele tem que especificar movimentos particulares do robô, por exemplo, MOVE garra TO POSITION (x, y, z). Isto pode ser feito através de linguagens textuais especiais ou através de técnicas gráficas interativas usando um sistema de simulação gráfica.

Técnicas baseadas em linguagem

Esta técnica consiste no ato de especificar instruções executáveis pelo robô em alguma linguagem textual que pode ser traduzida por um sistema, que pode ser um interpretador ou um compilador. Este esquema de programação requer que as instruções sejam especificadas como uma série de instruções de movimento que efetuarão a tarefa desejada. Quando o sistema de tradução é um interpretador, um programa pode ser decodificado instrução por instrução, e o controle do robô executa-lo-á passo a passo. No caso de um compilador, um código intermediário é gerado, o qual é executado por um programa interpretador.

Apesar de que o método com um compilador é mais poderoso, ele frequentemente requer software e hardware mais poderosos. Devido a isso, o método com um interpretador é mais popular.

Pode-se programar robôs “online” ou “offline”. A programação offline é efetuada especificando-se as trajetórias e as chamadas aos sensores que devem ser feitas no modo textual. Sentenças condicionais são possíveis neste esquema de programação.

Existem atualmente mais de 100 linguagens de programação de robôs, tanto quanto há variedades de robôs. Algumas das linguagens incluem VAL II, ou Pascal ou Basic estendido.

Será ilustrado a seguir a programação de robôs usando a linguagem VAL II, que foi desenvolvida nos EUA para a programação da série de robôs PUMA. A seguir são mostrados alguns comandos da linguagem:

- a) Definição de posições: Vários métodos podem ser usados para definir posições e para determinar a localização atual do robô. Por exemplo:

```
HERE P1
```

define a variável P1 como sendo a localização atual do robô. Semelhantemente, o comando

```
WHERE
```

requisita que o sistema robótico mostre a localização atual do robô. O comando TEACH é usado para levar o robô através da trajetória e registra, para o robô, uma série de posições usando o “teach pendant”. Um terceiro método de definir-se a localização do robô é usando-se o comando POINT. Por exemplo,

```
POINT PX = P1
```

faz com que o valor de PX, que é uma variável de localização, seja igual ao valor de P1.

Um exemplo de valores que poderão estar na variável P1 é:

```
< 40.236, 25.088, 16.500, 0.0, 0.0, 0.0 >
```

que representaria as posições das juntas para um robô com 6 juntas (3 para o corpo e o braço, e 3 para o pulso).

- b) Edição e controle de programas: Para iniciar a criação e edição de um programa, os seguintes comandos podem ser efetuados:

```
EDIT PICKUP1
```

```
...
```

```
E
```

O comando EDIT abre um programa chamado PICKUP1 e o comando E, que significa EXIT, possibilita a mudança do modo de programação para o modo de monitoração.

Antes da execução de um programa, a velocidade do robô é normalmente dada como uma porcentagem de uma certa velocidade, e isto pode ser feito usando-se o comando SPEED. Por exemplo:

SPEED 70

especifica a velocidade do manipulador em 70 unidades numa escala que pode variar de 0,39 (muito lento) até 1,28 (muito rápido), com 1,00 como sendo uma velocidade “normal”. Entretanto, a velocidade real que é usada nos programas é obtida do produto da velocidade especificada no modo de monitoração (tal como os 70 acima) e a especificada dentro do texto do programa. Por exemplo, se 50 fosse a velocidade especificada no programa (comando SPEED 50 IPS), isto significa que a velocidade real seria ($0,7 \times 50 = 35$) 35 unidades para a velocidade “normal”. A execução de um programa especificado pode ser feita usando o comando:

EXECUTE PICKUP1

Em casos onde o programa precisa ser executado em várias interações, pode-se efetuar o comando EXECUTE da seguinte forma:

EXECUTE PICKUP1, n

onde n é o número de interações da execução.

Existem muitos outros comandos no modo de monitoração, que incluem STORE, COPY, LOAD, RENAME, DELETE, etc.

- c) Comandos de movimento: VAL II possui comandos que são usados para movimentos de translação pelo robô. A instrução de movimento,

MOVE PX1

possibilita o robô a mover-se através da interpolação das juntas até o ponto PX1. Tal interpolação permite o robô iniciar seus movimentos em várias juntas e sincronizar o término dos movimentos mesmo quando suas distâncias não são as mesmas.

Um outro comando relacionado a isto é:

MOVES PX1

que causa o robô a mover-se ao longo de uma linha reta desde a sua posição atual até o ponto PX1.

Semelhantemente, os comandos APPRO e DEPART são usados para mover a ferramenta na direção e na direção oposta de alguma posição e orientação especificadas, respectivamente. Por exemplo:

APPRO PX1 70

MOVE PX1

DEPART 70

significa que a ferramenta deve mover-se da posição e orientação especificada por PX1, porém a uma distância de 70mm do ponto ao longo do eixo z da ferramenta. O comando DEPART retorna a ferramenta à sua posição original movendo-a a uma distância de 70mm do novo ponto

PX1 ao longo do eixo z. Apesar de que ambos os comandos APPRO e DEPART são efetuados no modo de interpolação de juntas, é possível efetuá-los em movimentos em linha reta usando-se os comandos APPROS e DEPARTS. Outros comandos que aplicam movimento incluem DRIVE and ALIGN. O comando DRIVE pode ser usado para mudar uma única junta de sua localização atual para outra. Por exemplo, se uma junta é rotacional, o comando seguinte pode ser dado:

DRIVE 5, 55, 60

que implica que o ângulo da junta 5 deve ser alterado acionando-se a junta de 55° na direção positiva numa velocidade de 60% da velocidade do modo de monitoração.

- d) Controle da mão: A garra pode ser controlada usando-se comandos de controle tais como OPEN, CLOSE, GRASP. Os comandos podem ser especificados como se segue:

OPEN 60

...

CLOSE 60

O comando OPEN causa a garra do robô a abrir até 60mm, enquanto o comando CLOSE causa o robô a fechar em 60mm. GRASP é um outro comando que causa o robô a fechar imediatamente. O comando

GRASP 10.5, 100

causa a garra a fechar imediatamente enquanto verifica se a abertura final é menor do que 10,5. Depois de fechar, o programa deveria ir para a linha 100 no programa.

- e) Comandos de configuração de controle e intertravamento: Existem comandos de configuração que asseguram que o manipulador é configurado no espaço para efetuar a sua tarefa como o braço, ombro, cotovelo ou pulso humanos. O comando RIGHTY ou LEFTY implicam que o cotovelo aponta para a direita ou esquerda (em relação ao braço superior) respectivamente. Outros comandos semelhantes incluem ABOVE, BELOW, etc.

Comandos de intertravamento são usados para comunicar sobre sinais de entrada e saída. O comando RESET desliga todos os sinais externos de saída e é usado tipicamente para inicialização. O comando SIGNAL é usado para ligar ou desligar sinais de saída. Por exemplo, o comando

SIGNAL 10, ON

liga o sinal na porta de saída 10, talvez para iniciar um ciclo automático de usinagem. O comando

SIGNAL 10, 6.0

poderia corresponder a enviar um sinal de voltagem de 6,0V ao dispositivo conectado à porta de saída 10.

O comando

```
WAIT 20, ON
```

causa a execução do programa a partir de um sinal de entrada advindo do controlador do robô na porta 20 esteja na condição ON. Isto pode corresponder ao término de um ciclo de máquina automática numa aplicação de carregamento e descarregamento.

O comando REACT é usado para interromper o programa devido a sinais de sensores externos. Por exemplo,

```
REACT VAR2, SUBR5
```

causaria o monitoramento contínuo do sinal binário externo especificado com variável VAR2. Quando o sinal esperado ocorre, dependendo do sinal, o controle é transferido para a subrotina SUBR5 (tal subrotina poderia corresponder a uma parada do robô - comando SAFESTOP).

Existem muitos outros comandos na linguagem VALII que não serão discutidos aqui, como por exemplo, INPUT/OUTPUT, IF ... THEN ... ELSE... END; WHILE ... DO; DO ... UNTIL; etc.

Técnicas baseadas em gráficos e simulação

Existe um ditado que diz que um desenho vale mais do que mil palavras. O sistema de programação gráfica usa modelos de objetos reais e o próprio robô no modelo do mundo para ilustrar o processo de programação e execução. Sensores e controladores devem também ser modelados com suas características para descrever os processos. Com essa abordagem é possível, por exemplo, prever os tempos de execução ou tempos do ciclo para tarefas programadas.

Muitas das abordagens gráficas usam modelos “wireframe” para fornecer uma animação da execução do programa (figura 5.15). Entretanto, alguns usam remoção de linhas escondidas para animação. Tem-se os prós e contras de velocidade x realismo visual. O “wireframe” fornece ambientes complexos, imagens difíceis do ambiente, com alta velocidade, enquanto o sistema de remoção de linhas escondidas fornece imagens mais realísticas porém numa velocidade reduzida devido aos cálculos necessários para executar a remoção das linhas escondidas.

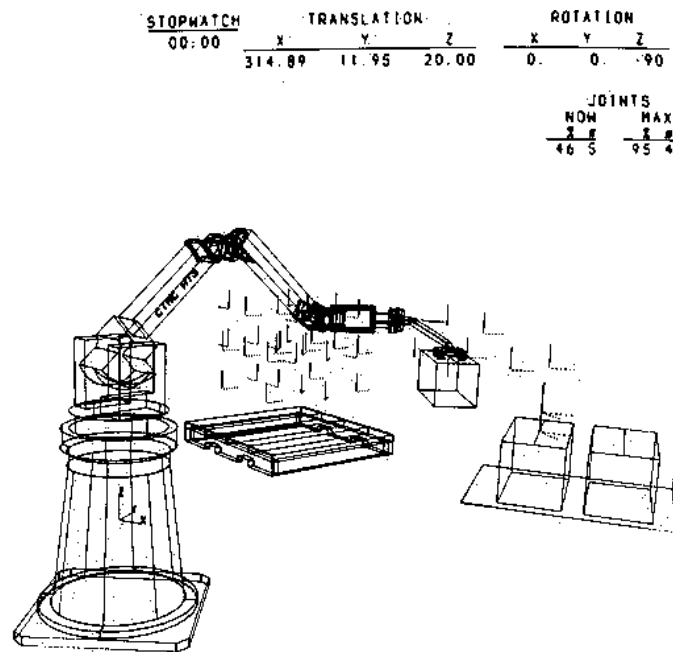


Figura 5.15. Simulador gráfico “wireframe” de um robô

APLICAÇÕES DE ROBÔS

Manuseio de materiais e Carregamento de máquina

O tipo mais básico deste papel para o robô é nas operações de pegar-colocar. O robô também pode ser usado no carregamento e descarregamento de máquinas.

Operações de manuseio de materiais podem incluir pegar-colocar e também aquelas operações relacionadas à paletização. O layout da célula pode ser tal que as peças sejam apresentadas por alguns dispositivos de alimentação (p.ex. esteira) numa localização especificada. A operação pegar-colocar pode variar do caso em que a localização é fixa, até a situação onde o robô deve rastrear uma peça em movimento numa esteira. Em cada caso, a operação envolve o robô segurando a peça usando a garra e movimentando a peça para outra localização.

Em operações de paletização, o robô deve pegar peças e empilhá-las sobre a pallet num certo padrão. O robô pode carregar peças ou objetos num container e o mesmo pode carregar o container sobre a pallet. A despaletização consiste no processo inverso e robôs são adequados para esse tipo de atividade, especialmente porque ela envolve nenhuma habilidade humana para ser efetuada, e são portanto enfadonhas.

Carregamento e descarregamento de máquina refere-se à categoria de manuseio de materiais onde o robô move as peças de/para uma máquina. Por exemplo, na usinagem, um robô pode carregar a matéria-prima na máquina e removê-la da máquina quando a operação for completada. O robô pode também carregar outros componentes nas máquinas, e alguns exemplos desses processos incluem: injeção de plásticos, fundição sob pressão, forjamento, estampagem, etc. Em cada um desses casos,

robôs têm sido aplicados para poupar os homens de tarefas repetitivas, sujas, desagradáveis ou perigosas.

Operações de Processamento

Em tais operações, o próprio robô efetua o trabalho sobre a peça. Normalmente, a garra não é convencional, e sim uma ferramenta que executa a tarefa.

Soldagem por resistência

A soldagem por resistência tem sido por muitos anos uma das aplicações mais importantes de robôs devido ao seu uso na indústria automobilística. Este é um processo onde duas chapas metálicas são fundidas juntas em pontos localizados, passando-se uma elevada corrente elétrica através dos componentes, onde eles são unidos pela solda. A fusão é feita em baixos níveis de voltagem usando-se dois eletrodos de cobre (ou de liga de cobre) para espremer as peças em pontos de contato e aplicar a corrente na área de soldagem. A corrente elétrica produz calor suficiente para fundir ambos os metais. A soldagem efetivamente ocorre numa fração de segundo. O maior tempo na soldagem é gasto posicionando-se as duas peças que devem ser soldadas, e os dois eletrodos na área a ser soldada.

O equipamento de soldagem pode ser volumoso e pesado (algumas vezes acima de 45kg). Mesmo suspendendo-se o aparelho através de um guincho superior, é ainda difícil de manipular. Devido a esses problemas associados com o equipamento para a soldagem manual, o robô passou a ser utilizado nessa operação. Essencialmente, a tocha é montada como uma garra ao pulso do robô, e o mesmo é programado para desempenhar uma seqüência de soldas no produto.

Soldagem a arco

A soldagem a arco é um processo contínuo de soldagem usado para fazer juntas soldadas longas onde uma conexão sólida entre as partes metálicas é exigida. Uma elevada corrente elétrica é fornecida a um eletrodo que tem a forma de uma haste ou fio metálico. As correntes variam entre 100A e 300A, e voltagens de 10V a 30V. O arco entre a haste de soldagem e as partes metálicas produz uma temperatura elevada o suficiente para fundir as peças.

Soldagem a arco é um processo perigoso para o trabalhador humano. O arco da solda normalmente produz radiação ultravioleta, que é danoso para o olho humano, o que é evitado através do uso de uma máscara escura, que filtra a radiação. Entretanto, devido à máscara, o ambiente de trabalho para o soldador é escuro, até que ele efetue o processo de soldagem. O robô é portanto adequado para esse tipo de operação uma vez que ele pode seguir uma trajetória pré-definida de soldagem. Um dos problemas que o robô pode apresentar é no caso de áreas de difícil acesso, que o robô tem dificuldade de alcançar. Existem também problemas decorrentes de variações dimensionais

e nas formas das peças a serem soldadas. O robô normalmente não tem como compensar tais variações. Estes são problemas difíceis para os sensores. Um exemplo de layout para a operação de soldagem a arco por um robô é mostrado na figura 5.16.

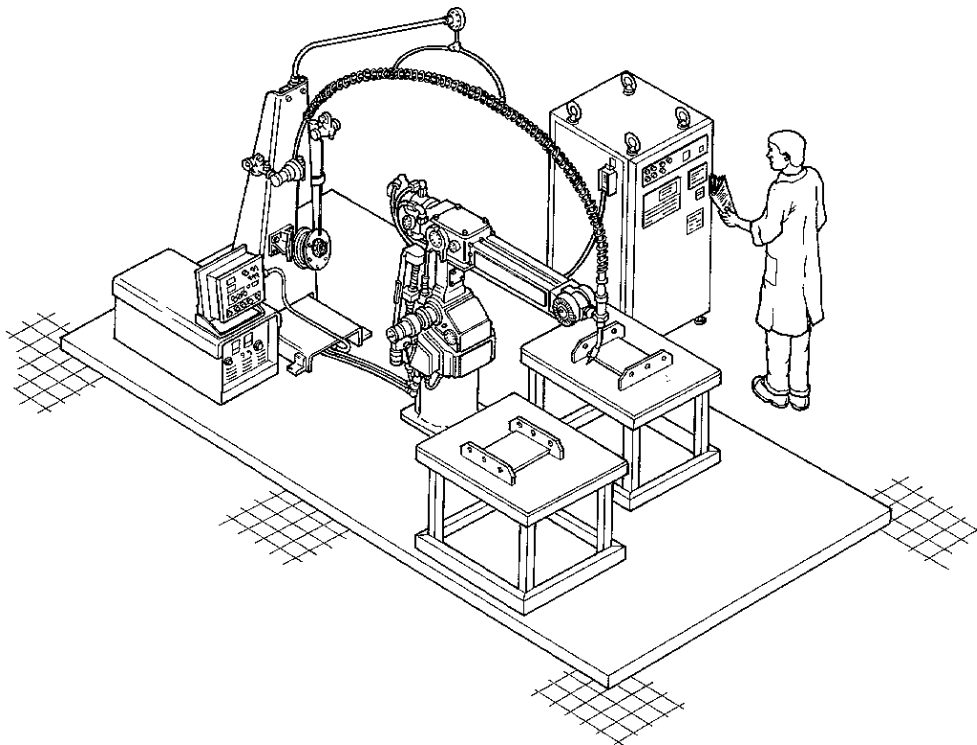


Figura 5.16. Célula de soldagem a arco com robô

Pintura spray

Produtos metálicos normalmente requerem algum tipo de acabamento de pintura antes de serem entregues para o consumidor. Existem dois tipos de abordagem utilizadas: imersão ou spray. Robôs são utilizados para ambos os métodos.

Métodos de imersão envolvem o mergulho da peça pelo robô num tanque com tinta. Depois do mergulho, a peça é removida e um tempo é dado para que a pintura em excesso respingue de volta para o tanque. Um outro método semelhante consiste em segurar a peça sobre um tanque, e tinta é deixada cair sobre a peça. Ambos os métodos acima são ineficientes quando é necessária uma cobertura de elevado acabamento. Além disso, tinta é desperdiçada.

O método spray envolve o uso de pistolas spray pelo robô para aplicar a tinta ou outra cobertura à peça. Existem vários tipos, desde spray de ar até spray eletrostático. O spray de ar combina ar e a tinta para atomizar o spray num feixe de alta velocidade com o auxílio de um bocal para direcionar o feixe à peça. O spray sem ar usa tinta que flui sob alta pressão através do bocal. A queda brusca de pressão causa o líquido a subdividir-se em pequenas gotas. O spray eletrostático usa a técnica com ar

ou sem ar, exceto que a peça é eletricamente aterrada enquanto as gotas de spray são carregadas negativamente, causando a tinta a aderir melhor à peça.

Como na soldagem, a pintura é perigosa para a saúde humana. Os vapores, o ruído do bocal, perigos de incêndio e potencial câncer são alguns dos perigos deste tipo de tarefa para o operador.

Robôs podem ser programados para efetuar a pintura spray eficientemente e melhor controle pode ser feito. Este tipo de processo requer controle contínuo da trajetória, acionamento hidráulico (pois o acionamento elétrico poderia causar riscos de incêndio), e um bom sistema de programação.

Existem muitos outros processos que robôs têm sido usados, que incluem operações de furação, retificação, polimento, rebarbação, rebitagem, corte com jato d'água, corte a laser, etc.

Montagem

A montagem ocorre quando duas ou mais peças são unidas, resultando na redução dos GDL de cada peça, mantendo-se contato estável (ver figuras 5.17 e 5.18).

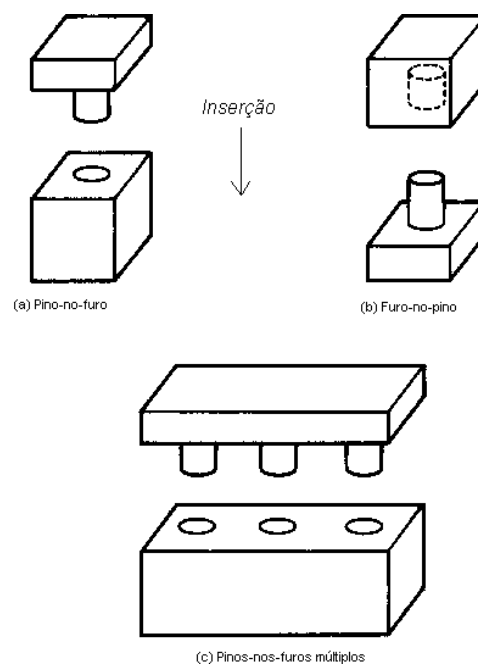


Figura 5.17. Tipos de operações de montagem

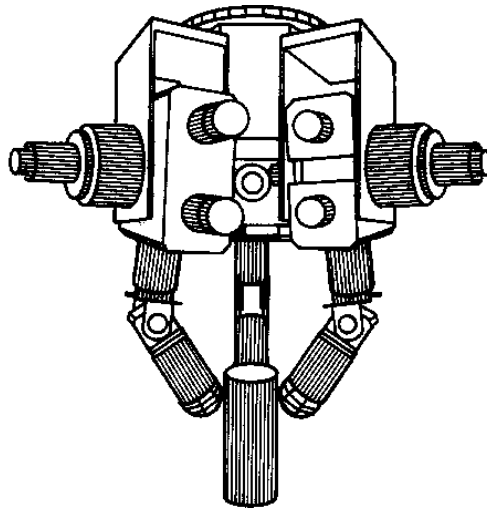


Figura 5.18. Uma garra com três dedos usada na montagem de peças

Existem vários tipos de operações de montagem:

- **Parafusos:** o robô pode executar operações de montagem com parafusos, ou girando o parafuso avançando e girando simultaneamente o pulso, ou usando uma garra especial adaptada com uma chave de fenda. Essa última abordagem é mais frequentemente usada devido à dificuldade da primeira. Com operações de aperto com parafuso o robô deve possuir controle de torque.
- **Montagem prensada (“Press fits”):** existem operações de ligação similares em natureza às operações pino-no-furo, onde o pino é um pouco maior do que o furo. Pressionando o pino no furo, uma montagem forte (prensada) pode ser obtida. Como uma força elevada pode ser necessária, e como o robô pode não possuir esta força, o robô poderá apenas carregar as peças numa prensa, e a operação propriamente dita seria efetuada pela prensa.
- **Montagem por encaixe (“Snap-fits”):** Nessa operação, ambas as peças possuem alguma interferência temporária que existe somente durante a operação de montagem. Uma (ou ambas) as peças deforma elasticamente para acomodar a interferência, e une-se às superfícies das outras peças.

Outros tipos de operações de união incluem o uso de adesivo, e costura (para unir peças feitas de couro por exemplo).

Espera-se que no futuro robôs efetuem tarefas mais complexas, possuam inteligência e sensores para lidar com tais tarefas. Espera-se que tenham mobilidade e entendam pelo menos um tipo limitado de linguagem natural, tornando possível ao trabalhador do chão de fábrica programá-los.

LAYOUT DE CÉLULAS COM ROBÔS

Como já visto anteriormente, as aplicações de robôs industriais normalmente envolvem vários equipamentos e dispositivos além do robô. Em várias aplicações, os robôs devem ser integrados numa única célula. É importante que os equipamentos na célula sejam posicionados de forma a resultar num layout eficiente. Existem três tipos de layout com robôs, que são: célula com robô no centro; célula com robôs em linha; e célula com robô móvel.

Na célula com robô no centro, o robô localiza-se aproximadamente no centro da célula, e os equipamentos são posicionados em torno do robô (ver figura 5.19). Esse tipo de célula é adequado a instalações onde há um único robô cuidando de uma ou mais máquinas.

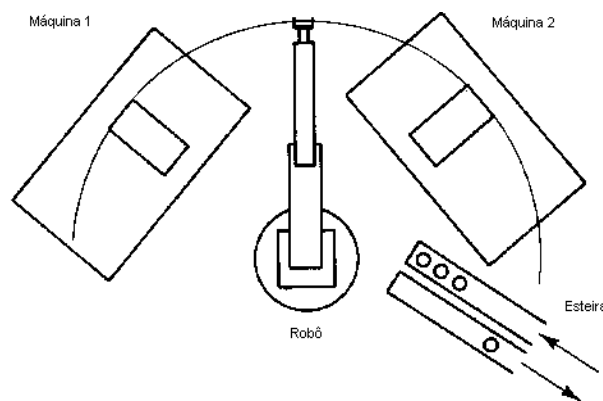


Figura 5.19. Layout de célula com o robô no centro

Na célula com robôs em linha, os robôs são localizados ao longo de uma esteira ou outro sistema de transporte de materiais. As tarefas são executadas de forma que as peças sejam apresentadas ao robô pelo sistema de transporte, e cada robô executa algum processo em cada peça (ver figura 5.20). Um exemplo típico desse layout é aquele de robôs soldadores na indústria automobilística.

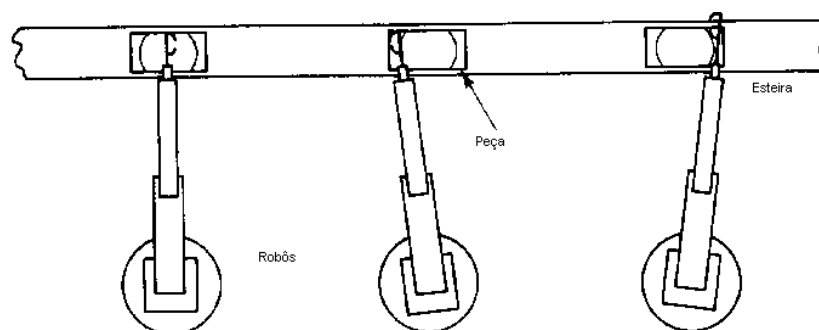


Figura 5.20. Layout de célula com robôs em linha

Na célula com robôs móveis (ver figura 5.21), o robô possui liberdade de movimento dentro da célula para executar várias tarefas em diferentes posições. O sistema de transporte pode consistir de

um trilho linear. Tal layout é adequado em instalações onde o robô deve cuidar de mais de uma estação de trabalho, e as estações não podem ser localizadas em torno do robô. Uma razão para tal layout poderia ser a situação em que as estações estão separadas por distâncias maiores do que a capacidade de alcance do robô.

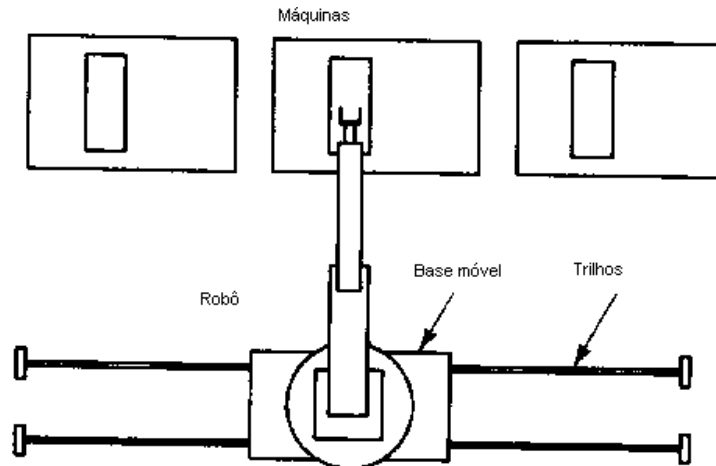


Figura 5.21. Layout de célula com robô móvel

EXERCÍCIOS

(1) Um robô executa uma operação de carregar e descarregar uma máquina-ferramenta. O ciclo de trabalho consiste da seguinte seqüência de atividades:

Atividade	Tempo (seg)
1. Robô pega a peça vindo da esteira de chegada e carrega-a na máquina.	5,5
2. Ciclo de usinagem (automático).	33,0
3. Robô se aproxima, retira a peça da máquina e deposita-a na esteira de saída.	4,8
4. O robô move-se de volta para a posição inicial.	1,7

As atividades são executadas seqüencialmente. A cada 30 peças, as ferramentas na máquina são trocadas. Esse ciclo irregular dura 3,0 minutos. Considere a eficiência do robô e da máquina igual a 100%. Determinar a taxa de produção.

(2) Suponha que utiliza-se uma garra dupla no robô acima. As atividades no ciclo seriam alteradas como se segue:

Atividade	Tempo (seg)
1. Robô pega a peça vindo da esteira de chegada numa garra e espera o término do ciclo de usinagem. Essa atividade é executada simultaneamente com o ciclo de usinagem.	3,3
2. No término do ciclo de usinagem anterior, o robô se aproxima, retira a peça acabada da máquina, carrega a matéria-prima no dispositivo de fixação, e move-se para longe da máquina	5,0
3. Ciclo de usinagem (automático).	33,0
4. O robô move-se para a esteira de saída e deposita a peça sobre ela. Essa atividade é executada simultaneamente com o ciclo de usinagem.	3,0
5. O robô move-se de volta para a posição inicial. Essa atividade é executada simultaneamente com o ciclo de usinagem.	1,7

Determinar a taxa de produção.

(3) Como a porção do ciclo do robô requer bem menos tempo do que o da máquina-ferramenta no exercício 1, considera-se a instalação de uma célula com duas máquinas. O robô carregaria ambas as máquinas, a partir das mesmas esteiras. As máquinas seriam posicionadas num layout com o robô no centro., de forma que as distâncias entre os dispositivos de fixação e as esteiras são as mesmas para ambas as máquinas. Utiliza-se portanto os mesmos tempos das atividades apresentados no exercício 1. O robô deverá servir uma máquina de cada vez. Determinar a taxa de produção.

(4) Determinar a taxa de produção para a célula com duas máquinas, porém considerando o robô equipado com uma dupla garra como no exercício 2. Assuma que os tempos das atividades do exercício 2 são aplicados aqui.