

Notas de Apoio a Sistemas de Automação

Tecnologias de Sistemas de Automação Industrial

Paulo Leitão

URL: <http://www.ipb.pt/~pleitao>

E-mail: pleitao@ipb.pt



INSTITUTO POLITÉCNICO Escola Superior
DE BRAGANÇA de Tecnologia e Gestão

Paulo Leitão, Tecnologias

1

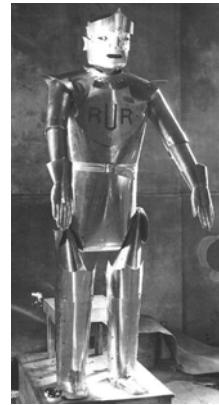
Robótica

Paulo Leitão, Tecnologias

2

Origem da Palavra “Robot” e Definição

- A palavra "robot" foi introduzida pelo escritor checo Karel Capek no seu drama satírico R.U.R. (Rossum's Universal Robots) (1921).
 - *Na peça, os robots revoltam-se contra os seus criadores, e tentam liquidar a raça humana.*
- Deriva da palavra checa "roboata" que significa trabalho forçado.
- Não existe uma definição universalmente reconhecida.
- **Possível definição:** máquina automática que executa funções atribuídas a seres humanos.



Paulo Leitão, Tecnologias

3

História (1)

1250: O Bispo Albertus Magnus organizou um banquete em que os convidados eram servidos por criados de metal. S. Tomás de Aquino chamou então ao Bispo feiticeiro.



1640: O filósofo e matemático francês Descartes construiu uma mulher autómato a que chamou “Ma fille Francine.” Numa viagem que Descartes fez a bordo de um navio, o autómato foi atirado borda for a pelo capitão que achou que a boneca era obra do diabo.



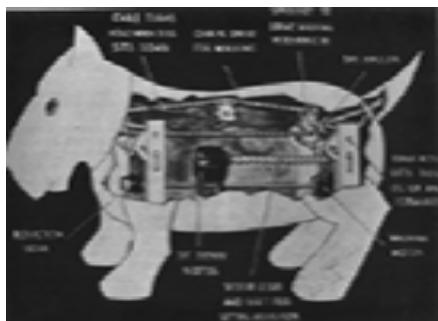
1738: Jacques de Vaucanson construiu um pato mecânico com mais de 4000 partes. O pato grasnava, banhava-se, bebia água, comia, digeria e ainda evacuava.

Paulo Leitão, Tecnologias

4

História (2)

- 1921 - ROBOTA: palavra checa que significa “trabalhador forçado”, usada por Karel Čapek numa peça teatral satírica, intitulado R.U.R. (Rossum's Universal Robots).
- 1926 - Primeiro filme na Alemanha envolvendo robôs: Metropolis. Elektro e Sparko são os robôs de serviço.



Sparko, o cão da Westinghouse, feito de componentes mecânicos e eléctricos.

Paulo Leitão, Tecnologias

5

História (3)

- 1940 - Oak Ridge e Argonne National Labs manipuladores mecânicos remotos para materiais radioactivos.
- 1942 - ROBÓTICA: palavra inventada por Isaac Asimov, para denominar a ciência que lida com robôs.
- 1950 - Livro “I Robot” de Isaac Asimov.
- 1950 - Handyman (General Electric) e Minotaur I (General Mills) com actuação eléctrica e pneumática.
- 1954 - George C. Devol: manipulador cuja operação podia ser programada (“programmed articulated transfer device”).
- 1959 - George C. Devol e Joseph F. Engelberger: introdução do primeiro robô industrial, Unimate da Unimation Inc.

Paulo Leitão, Tecnologias

6

História (4)

- 1962 - H.A. Ernst: MH-1 - mão mecânica com sensores tácteis, controlada por computador.
- 1968 - Shakey: robô móvel desenvolvido no SRI (Stanford Research Institute).
- 1973 - WAVE: primeira linguagem de programação para robôs (SRI).
- 1978 - PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly).
- 1987 - Subsumption Architectures - Rodney Brooks (MIT).
- 2001 - Robô humanóide da Honda: capacidade de locomoção, visão, olfacto, tacto e voz.

Paulo Leitão, Tecnologias

7

Leis da Robótica (Isaac Asimov, 1940)

- Lei 1: Um Robô não pode ferir um humano ou por negligência das suas acções, permitir que um ser humano venha a ser ferido.
- Lei 2: Um Robô deve obedecer às ordens dadas por humanos, excepto quando essas ordens estiverem em conflito com a Primeira Lei.
- Lei 3: Um Robô deve proteger a sua própria existência, exceptuando quando contrariar a Primeira ou a Segunda Leis.

Paulo Leitão, Tecnologias

8

O que é a Robótica?

- Ciência que estuda os robôs.
- Envolve:
 - A concepção, fabrico, controlo e programação de robôs.
 - O estudo dos processos de controlo, sensores e algoritmos utilizados pelos humanos, animais e máquinas.
 - A aplicação destes processos de controlo e algoritmos aos robôs.
- Ciência multidisciplinar:
 - Agrega conhecimentos de diferentes áreas, tais como física, mecânica, eletrónica e automação, controlo, computação e inteligência artificial.

Paulo Leitão, Tecnologias

9

Tipos de Robôs (quanto à mobilidade)

- Robôs manipuladores (industriais):
 - Base fixa, i.e. capacidade de mobilidade limitada (preso ao chão, parede ou tecto).
 - Manipuladores multi-aplicação, multi-funcional e re-programável.
 - Realização de tarefas repetitivas (normalmente atribuídas a humanos).
- Robôs móveis e autónomos:
 - Base móvel, i.e. capacidade de mobilidade.
 - Realiza as suas próprias decisões utilizando o feedback que recebe do seu ambiente.
- Humanóides:
 - Aparência antropomórfica (humanos).
 - Capacidade de deslocamento, e.g. andar, subir e descer escadas.

Paulo Leitão, Tecnologias

10

Aplicações de Robôs (1)



Paletização de garrafas de Champanhe



Soldadura na indústria automóvel



Manipulação e paletização na indústria alimentar



Montagem, manipulação e paletização no fabrico de máquinas de lavar

Paulo Leitão, Tecnologias

11

Aplicações de Robôs (2)



Manipulação, paletização e maquinagem nas indústrias da madeira e mobiliário



Manipulação de paletes na indústria química



Paulo Leitão, Tecnologias Manipulação



Paletização na indústria alimentar

12

Aplicações de Robôs (3)



Transporte na indústria do papel



Efacec – Fábrica de Transformadores



PolyGram

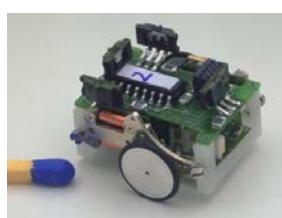


Motol's university hospital, Prague - Czech Republic

Paulo Leitão, Tecnologias

13

Aplicações de Robôs (4)



Robot Alice, EPFL, Suíça



PackBot, iRobot, EUA



Sage - a museum tour guide



Helpmate



Spirit/Opportunity, JPL e NASA, USA



Wheelesley-cadeira de rodas robotizada



Aspirador Roomba

Paulo Leitão, Tecnologias

14

Aplicações de Robôs (5)



Helicóptero semi-autónomo, ISR/IST



To identify threats in the nation's harbors, MPV International's semi-autonomous robot boat is capable of radar, sonar and video surveillance, as well as chemical, biological and meteorological analysis.

Autonomous speedboat for patrol operations, MRVI



Antex



Isurus, FEUP

Paulo Leitão, Tecnologias

15

Aplicações de Robôs (9)



Star wars: 3dpo, R2D2



ASIMO, Honda



Qrio

QRIO, Sony



AIBO, Sony



P3, Honda



NAO, Aldebaran Robotics

Paulo Leitão, Tecnologias

16

Algumas Notas sobre Casos de Estudo

- Bank of China uses 7 AGV's to handle money and paper, circulating between two floors, through the use of a lift.
- Vista Alegre is the major Portuguese company in ceramic industry. They use 4 semi-automated AGV's (with an operator for each AGV) to handle the parts between the production and automatic storage system.
- Fairfax in Australia is one of the world's most modern newspaper printers. The printing presses consume 12.84 metres of newspaper a second! 17 laser controlled AGV's feed the paper-consuming presses.
- Daimler Chrysler uses AGV's, from NDC Automation, in the USA in its assembly line.
- Motol's university hospital in Prague in the Czech Republic: use of AGV's in hospital tasks, such as the transport of food, laundry and beds.

Paulo Leitão, *Tecnologias*

17

Algumas Notas sobre Casos de Estudo (2)

- **PolyGram Mfg case** (*From NDC News, n°11*)
 - One of the biggest player in the area of music business, producing more than 185 million CDs each year.
 - In 1998, they installed a single-aisle miniload automated storage and retrieval system (AS/RS) and 10 automated laser-guided vehicles.
 - The vehicle path is in the computer on board of each vehicle. The rotating laser on the vehicle uses reflectors on the walls to triangulate exact position, allowing system flexibility.
- **Champagne industry** (*From Consumer Goods focus, n°1, 1997*)
 - At Jacquart co-operative, the champagne bottles arrive for packaging lying on their sides, top to bottom, in large wooden box-pallets.
 - The robot is responsible for extracting them from the cases (25 bottles, i.e. half at a time) in order to place them on a conveyor. There, they are placed in a vertical position in order to be conveyed towards the labelling lines.
 - Previously, this operation involved three people plus the truck driver.

Paulo Leitão, *Tecnologias*

18

Definição de Robô Manipulador

- Instituto Americano de Robótica
 - Um robô é um manipulador reprogramável, multi-funcional, projectado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas.
- Mikell Grover
 - Um robô industrial é uma máquina multi-aplicação e programável possuindo certas características antropomórficas.
- Dicionário Webster
 - Um robô é um dispositivo automático que efectua a função normalmente atribuída a homens ou a máquinas na forma de um homem.

Paulo Leitão, Tecnologias

19

Robótica: a Chave para a Automação

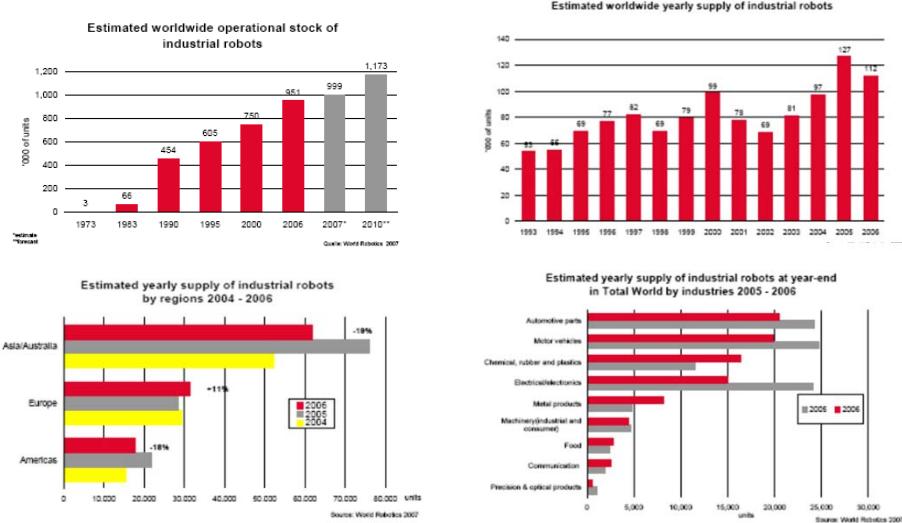


- Melhoram a qualidade dos produtos.
- Ideais para realizar tarefas precisas, repetitivas, aborrecidas e perigosas.
- Os robôs não se aborrecem nem se cansam.
- 90% dos robôs estão instalados em fábricas e mais de 50% na industria automóvel.
- Os robôs montam painéis de carros, soldam-nos uns aos outros, pintam-nos e ainda movimentam carros completos ou parcialmente montados.

Paulo Leitão, Tecnologias

20

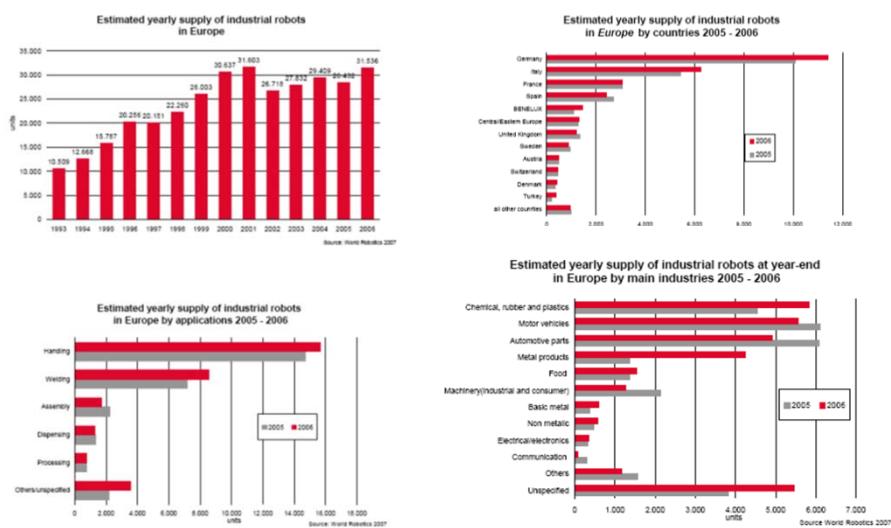
Alguns Números sobre Robótica



Paulo Leitão, Tecnologias

21

Alguns Números sobre Robótica (2)



Paulo Leitão, Tecnologias

22

Algumas Conclusões e Previsões

- O incremento de 10% na Europa em 2007 é resultado de:
 - Forte investimento da industria automóvel.
 - Investimento crescente de outras industrias, tais como eléctrica/electrónica, química, metalomecânica e alimentar.
- Previsões:
 - Período de 2008 a 2009: crescimento mundial moderado, e em 2010: possível decrescimento cíclico.
 - Na industria automóvel, crescimento modesto ou estagnado devido a:
 - » Consolidação das capacidades produtivas;
 - » Concentração em *hubs* de produção e deslocamento para países de baixo custo;
 - » Robôs refurbished ganharão importância no futuro.
 - Todas as outras industrias:
 - » Potencial elevado para investimento em robôs.

Paulo Leitão, Tecnologias

23

Aplicações Típicas de Robôs Industriais

- Paletização
- Montagem
- Soldadura
 - Por arco
 - Por pontos
- Pintura
- Esmaltagem
- Aplicação de colas/mastiques/vidros
- Polimento/lixagem/flamagem
- Corte jato de água
- ...

Outras áreas:

- Medicina
 - Cirurgia
 - Reabilitação/fisioterapia
- Agricultura
 - Tosquia de ovelhas
 - Ceifeiras automáticas

Paulo Leitão, Tecnologias

24

Manipulação / Paletização



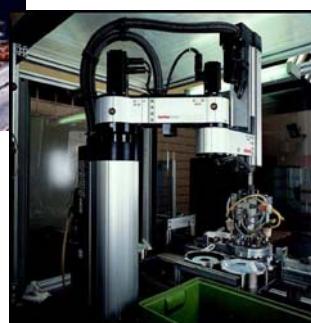
Vantagens na utilização de robôs neste tipo de tarefas:

- factores de segurança acrescida na interface de operadores com máquinas;
- repetibilidade da tarefa a realizar;
- o ambiente de trabalho, é por vezes, prejudicial;
- evita-se a manipulação de cargas elevadas por parte de operadores.

Paulo Leitão, Tecnologias

25

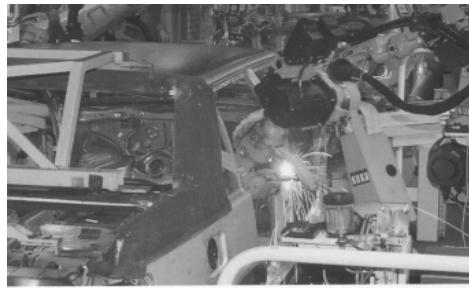
Montagem



Paulo Leitão, Tecnologias

26

Soldadura



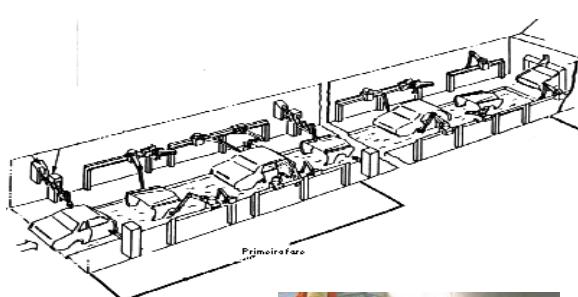
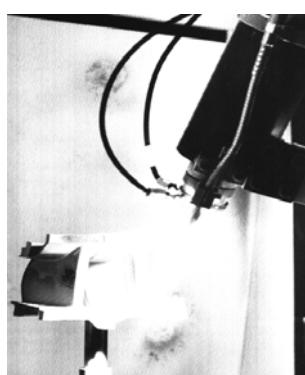
Paulo Leitão, Tecnologias

Vantagens:

- racionalização do processo de soldadura;
- incremento da qualidade e segurança.

27

Pintura



- Utilização em condições adversas (perigo de fogo e de cancro, ruído, etc.),
- Exemplos: industria automóvel, electrodomésticos, porcelanas para WC, etc.

Paulo Leitão, Tecnologias

28

Componentes Básicos de um Robô



Paulo Leitão, Tecnologias

29

Componentes Básicos de um Robô (2)

- Estrutura mecânica: ligações, juntas, base, etc.
- Actuadores: motores, cilindros pneumáticos, etc., que permitem o movimento das juntas do robot.
- Controlo: controla as juntas do robot e é a interface com o utilizador.
- Ferramenta: tem por objectivo a manipulação de objectos e é concebida de acordo com as necessidades de manipulação.
- Teach pendant: consola de controlo manual e de programação do robot.

Paulo Leitão, Tecnologias

30

Vantagens da Utilização de Robôs

- Factores técnicos

- Flexibilidade na gama de produtos fabricados.
- Incremento da precisão, robustez, rapidez, uniformidade e suporte a ambientes hostis.
- Incremento dos índices de qualidade e de peças rejeitadas.

- Factores económicos

- Utilização eficiente de unidades de produção intensiva.
- Aumento de produtividade (inexistência de interrupções, absentismos, etc.).
- Redução do tempo do WIP e do tempo de preparação de fabrico.

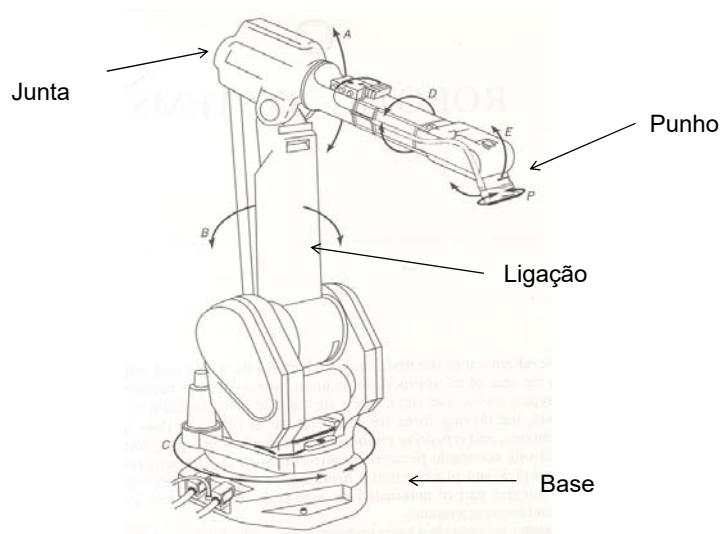
- Factores sociológicos

- Redução do número de acidentes.
- Afastamento do ser humano de locais perigosos para a saúde.
- Redução de horários de trabalho.
- Aumento do poder de compra.

Paulo Leitão, Tecnologias

31

Robô Típico (Existente no LA)

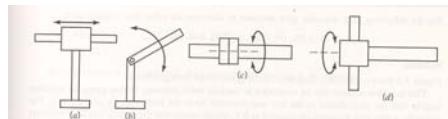


Paulo Leitão, Tecnologias

32

Tipos de Juntas ou Articulações

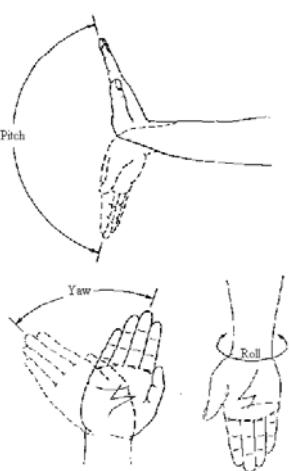
- Junta Linear (tipo L)
Permite o movimento das ligações de uma forma linear.
- Junta Rotacional (tipo R)
Movimento de rotação em relação ao eixo perpendicular à junção das duas ligações.
- Junta de Torção (tipo T)
Movimento de rotação em relação ao eixo paralelo à junção das duas ligações.
- Junta Revolvente (tipo V)
Movimento de rotação com eixo paralelo à ligação de entrada (a mais próxima da base) e perpendicular à de saída.



Paulo Leitão, Tecnologias

33

Notação dos Movimentos do Punho

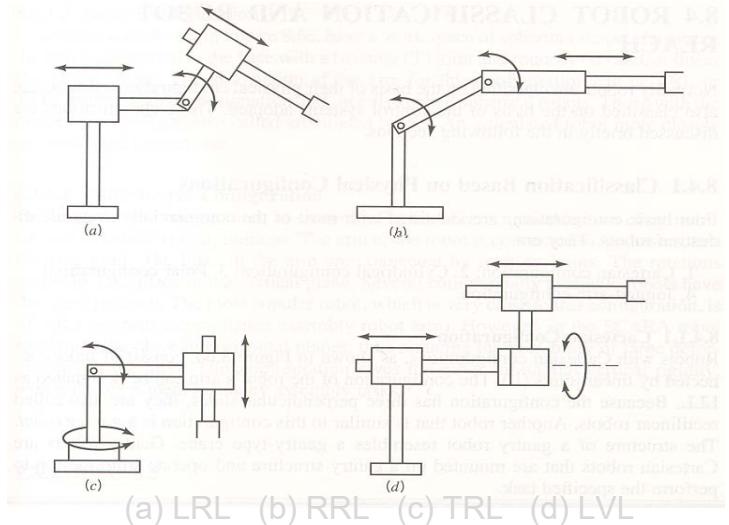


- Roll (junta T)
Rotação do punho em torno do braço (eixo zz).
- Pitch (junta R)
Rotação do punho para cima e para baixo (eixo yy).
- Yaw (junta R)
Rotação do punho para a esquerda e para a direita (eixo xx).

Paulo Leitão, Tecnologias

34

Exemplos de Notação de Juntas



Paulo Leitão, Tecnologias

35

Graus de Liberdade

- O nº de articulações de um braço manipulador é também referenciado como grau de liberdade.
- A maioria dos robôs tem entre 4 a 6 graus de liberdade.
- O robô ABB IRB 1400 existente no laboratório possui 6 graus de liberdade, correspondentes a 6 juntas.
- Curiosidade: o homem, do ombro até ao pulso, tem 7 graus de liberdade.

Paulo Leitão, Tecnologias

36

Movimento e Precisão

- Resolução Espacial

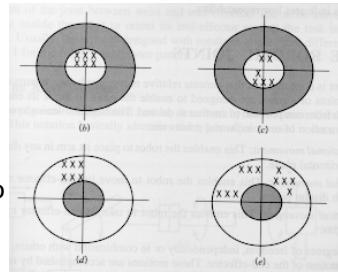
- Menor incremento de movimento no qual o robô pode dividir a sua área de trabalho.
- Depende da resolução do sistema de controlo e das imprecisões mecânicas do robô.

- Precisão

- Capacidade de o robô atingir um ponto desejado.
- Mede a distância entre a posição especificada e a posição real atingida pelo robô.

- Repetibilidade

Capacidade de o robô se posicionar na mesma posição aquela em que se posicionou anteriormente.



Paulo Leitão, Tecnologias

37

Classificação de um Robô

- Normalmente os robôs são classificados de acordo com as suas configurações físicas ou de acordo como sistema de controlo adoptado.
- Classificação baseada na configuração física:
 - Cartesiano ou rectangulares
 - Cilíndrico
 - Polar ou esféricos
 - Articulados
- Classificação baseada no sistema de controlo:
 - Controlo Ponto a Ponto (PTP)
 - Controlo Trajectória Contínua (CP)
 - Controlo Trajectória Controlada

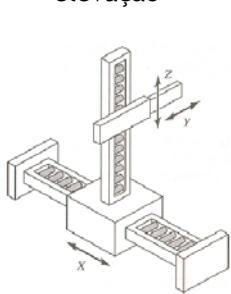
Paulo Leitão, Tecnologias

38

Robôs Cartesianos e Cilíndricos

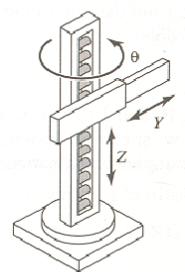
Robô Cartesiano

- Movimento rectilíneo nas direcções X, Y e Z
- Três juntas lineares (L)
- Deslocamento, alcance e elevação



Robôs Cilíndricos

- Coordenadas cilíndricas (r , ϕ e z)
- Duas juntas lineares (L) e uma rotacional (T)
- Alcance, elevação e rotação



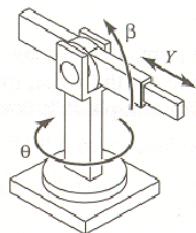
Paulo Leitão, Tecnologias

39

Robôs Esféricos e Articulados

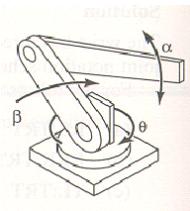
Robô Esférico

- Coordenadas esféricas (r , ϕ e θ).
- Uma junta linear (L) e uma rotacional (R) e outra de torção (T)



Robô Articulado

- Uma junta de torção (T), que efectua a ligação ao solo
- Restantes juntas de rotação (R)



Paulo Leitão, Tecnologias

40

Robôs SCARA (Selective Compliance Automatic Robot Arm)

- Desenhado para evitar pequenos erros de posição.
- Aplicação típica: montagem pick&place.
- Desvantagem: limitação de movimentos.



Paulo Leitão, Tecnologias

41

Robôs Paralelos

• Vantagens

- Construção mecânica simples e elevada rigidez mecânica.
- Actuadores podem ser localizados na base.
- Elevada capacidade de carga.
- Elevadas acelerações.
- Pequeno movimento de massa.
- Elevada frequência natural.

• Desvantagens

- Volume de trabalho limitado.
- Singularidades no volume de trabalho.
- Elevado acoplamento entre as cadeias de movimento cinemático.
- Modelos geométricos e diferenciais são difíceis de estabelecer.



Paulo Leitão, Tecnologias

42

Tipos de Sistemas de Controlo

- Controlo Ponto a Ponto - PTP
 - O robô é capaz de se deslocar de um ponto para um qualquer outro ponto do seu volume de trabalho, sendo a trajectória e velocidade não controladas ao longo desse movimento.
- Trajectória Contínua - CP
 - A trajectória é total ou parcialmente contínua, permitindo o controlo do movimento e velocidade de cada eixo em simultâneo. Essencial para aplicações de pintura, soldadura, etc.
- Trajectória Controlada
 - Possibilidade de gerar trajectórias com geometrias diferentes, como sejam linhas, círculos, curvas interpoladas. Apenas é necessário memorizar o ponto de início e o de fim da trajectória.
- Controlo Inteligente
 - Este tipo de controlo de movimento permite ao robô ajustar as trajectórias por interacção com o meio ambiente. Estas tomadas de decisões lógicas baseiam-se na informação recebida por sensores.

Paulo Leitão, Tecnologias

43

Accionamento

- Accionamento Hidráulico
 - Permitem valores elevados de velocidade e de força.
 - A grande desvantagem é o seu elevado custo.
 - Preferíveis em ambientes nos quais os drives eléctricos poderão causar incêndios, como seja na pintura.
- Accionamento Eléctrico
 - Oferecem menor velocidade e força (comparativamente aos hidráulicos).
 - Permitem maior precisão, maior repetibilidade e mais “limpos” na utilização.
 - Dois tipos de accionadores eléctricos: motores passo a passo (controlo em malha fechada ou aberta) e servomotores DC (controlo em malha fechada). Os últimos são os mais utilizados, permitindo movimentos controláveis de forma contínua e suave.
- Accionamento Pneumático
 - Utilizado em robôs de pequeno porte e que possuam poucos graus de liberdade.
 - Baixo custo (mais económico que os anteriores).

Paulo Leitão, Tecnologias

44

Selecção de Robô

- Tamanho (x - máxima dimensão do volume de trabalho)
 - Micro ($x \leq 1$ m), Pequeno ($1 < x \leq 2$ m), Médio ($2 < x \leq 5$ m), Grande ($x > 5$ m)
- Graus de Liberdade
- Velocidade
- Accionamento
 - Hidráulico, Eléctrico ou Pneumático.
- Sistema de controlo
 - Ponto a ponto (PTP), Trajectória Continua (CP), Trajectória controlada, etc.
- Capacidade de Carga
- Precisão e Repetibilidade
- Peso do robô

Paulo Leitão, Tecnologias

45

Movimento e Singularidades

- Movimento entre várias posições (armazenadas em memória).
- Como definir um ponto:
 - Coordenadas cartesianas nas direcções X, Y e Z em mm, e os ângulos do manipulador e o comprimento da ferramenta.
- Parâmetros necessários para localizar o manipulador:
 - Ângulos de cada uma das juntas e/ou a disposição dos eixos lineares.
- Transformações Cartesianas: conversão das coordenadas cartesianas em ângulos das juntas.
- A matemática das relações entre os ângulos das juntas e as coordenadas espaciais actuais é denominada de cinemática.

Paulo Leitão, Tecnologias

46

Matriz de Transformação Homogênea

- Necessidade de combinar vectores de posição e matrizes de rotação.
- Matriz T de dimensão 4 x 4 que representa a transformação de um vector de um sistema de coordenadas outro.
- Esta matriz é composta por 4 sub-matrizes:

$$T = \begin{bmatrix} R_i & P_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

em que R_i é a sub-matriz de rotação e P_i é a sub-matriz de translação.

Matriz de Transformação Homogénea (2)

- Serve para:

- Conhecer as coordenadas r_x , r_y e r_z do vector r no sistema XYZ a partir das suas coordenadas x y z no sistema UVW.

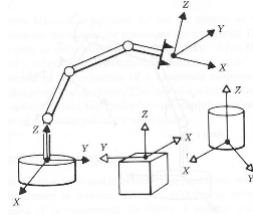
$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Expressar as rotações e translações de um vector em relação a um sistema fixo XYZ.

$$\begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ r'_z \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Transformação Homogénea de Translação

$$T(P_x, P_y, P_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x \\ 0 & 1 & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Exemplo: Considere a translação do ponto $M(0,3,5)$ para um sistema que está deslocado de $(1,2,3)$. Calcule as coordenadas do novo ponto.

$$M_n = T(P_x, P_y, P_z)M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 5 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 5 \\ 8 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Paulo Leitão, Tecnologias

49

Transformação Homogénea de Rotação

Rotação em X

$$T(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotação em Y

$$T(y, \phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotação em Z

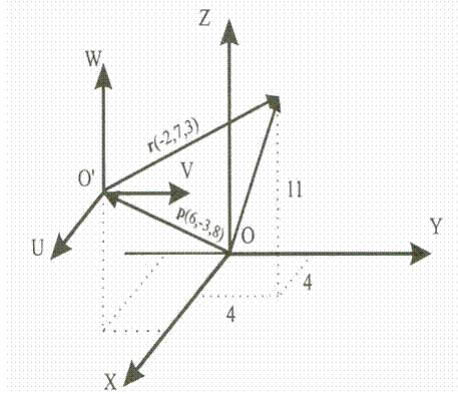
$$T(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Paulo Leitão, Tecnologias

50

Exercícios (1)

- 1) O sistema UVW está transladado de um vector $p(6, -3, 8)$ em relação ao sistema XYZ. Calcular as coordenadas (r_x, r_y, r_z) do vector r cujas coordenadas em relação ao sistema UVW são $r_{uvw}(-2, 7, 3)$.

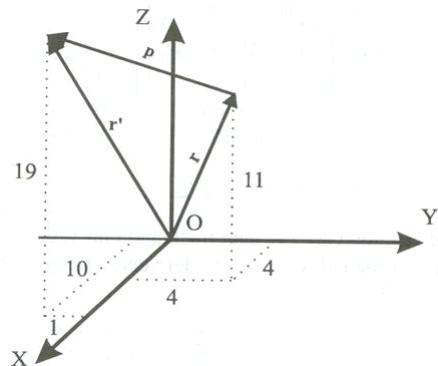


Paulo Leitão, Tecnologias

51

Exercícios (2)

- 2) Calcular o vector r'_{xyz} resultante da translação do vector $r_{xyz}(4, 4, 11)$ segundo a transformação $p(6, -3, 8)$.

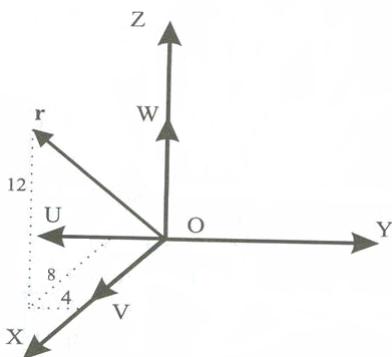


Paulo Leitão, Tecnologias

52

Exercícios (3)

- 3) O sistema UVW encontra-se rodado de -90° em torno de O em relação ao sistema XYZ. Calcular as coordenadas do vector r_{xyz} considerando $r_{uvw}=[4,8,12]^T$.



Paulo Leitão, Tecnologias

53

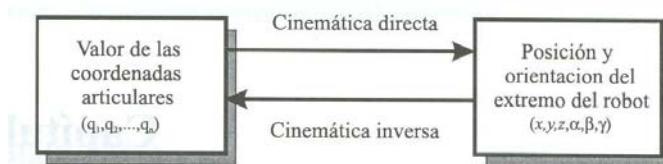
Cinemática de um Robô

- A cinemática estuda o movimento do robô em relação a um sistema de referência.
- Descrição analítica do movimento do robô como uma função do tempo, em particular das relações entre a posição e orientação da ferramenta com as coordenadas das articulações.
- Importante: redundância (diferentes formas de executar o mesmo movimento), evitar colisões e singularidades.
- Duas abordagens:
 - Cinemática directa: cálculo da posição e orientação da ferramenta em relação à base do robô, quando os valores das juntas são conhecidos.
 - Cinemática inversa: cálculo dos valores das juntas para obter uma determinada posição da ferramenta (necessário no planeamento de um caminho).

Paulo Leitão, Tecnologias

54

Cinemática Directa versus Inversa



Cinemática directa (ângulos para encontrar a posição):

- Conhecido: i) a longitude de cada ligação, ii) o ângulo de cada articulação.
- Procura-se: a posição de qualquer ponto (coordenadas em relação à base)

Cinemática inversa (posição para encontrar os ângulos):

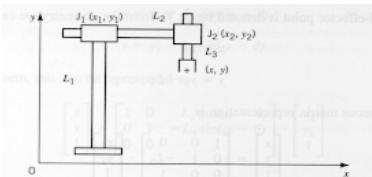
- Conhece-se: i) a longitude de cada ligação, ii) a posição de qualquer ponto (coordenadas em relação à base).
- Procura-se: o ângulo de cada articulação de forma a obter a posição desejada.

Transformação Cinemática num Robô LL

- Cálculo das coordenadas da extremidade do braço do robô para um determinado conjunto de coordenadas das juntas
- Cálculo das coordenadas das juntas para uma determinada posição da extremidade do braço do robô.

$$\begin{aligned} V_w &= (x, y) & V_j &= (\theta, \alpha) & \text{para o caso de juntas RR} \\ V_j &= (L_1, L_2) & & & \text{para o caso de juntas LL} \\ V_j &= (\alpha, L_2) & & & \text{para o caso de juntas TL} \end{aligned}$$

- Consideremos o caso de um robô LL



Transformação Cinemática num Robô LL

Estabelecendo as relações entre as juntas J1 e J2,

$$x_2 = x_1 + L_2$$

$$y_2 = y_1$$

Representando as relações na forma da matriz homogénea

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & L_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{ou} \quad X_2 = T_1 \cdot X_1$$

Calculando agora em relação à extremidade do braço,

$$\begin{array}{lll} x = x_2 & \left[\begin{array}{c} x \\ y \\ 1 \end{array} \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -L_3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} & \text{ou} \quad X = T_2 \cdot X_2 \\ y = y_2 - L_3 & \text{ou} & \end{array}$$

Paulo Leitão, Tecnologias

57

Transformação Cinemática (2)

Substituindo X_2 ,

$$X = T_2 (T_1 X_1) = T_{LL} X_1 \quad \text{onde} \quad T_{LL} = T_2 T_1$$

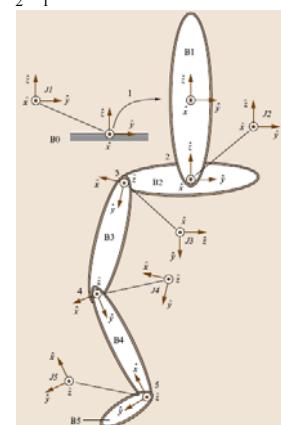
e

$$T_{LL} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & L_2 \\ 0 & 1 & -L_3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

E para os casos de robôs RR e TL?

E para robôs articulados com mais de duas juntas?

A transformação torna-se complexa.

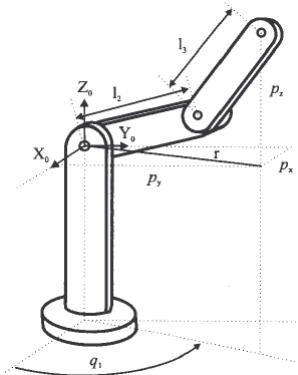


Paulo Leitão, Tecnologias

58

Aplicação da cinemática inversa

Problema:



Sabe-se a posição (p_x, p_y, p_z) e pretende-se determinar o valor dos ângulos das juntas.

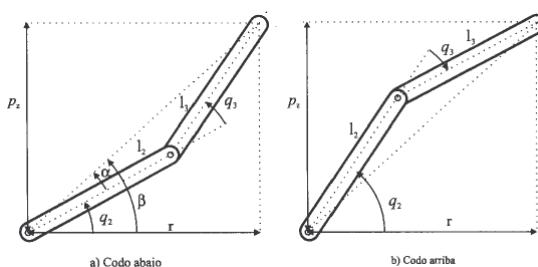
Resolução:

O valor de q_1 é imediatamente determinado:

$$q_1 = \arctg\left(\frac{p_y}{p_x}\right)$$

Aplicação da cinemática inversa (2)

O valor de q_3 é determinado considerando apenas um plano:



$$\left. \begin{aligned} r^2 &= p_x^2 + p_y^2 \\ r^2 + p_z^2 &= l_2^2 + l_3^2 + 2l_2l_3\cos q_3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \cos q_3 = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \Rightarrow q_3 = \arctg\left(\frac{\pm\sqrt{1-\cos^2 q_3}}{\cos q_3}\right)$$

Notar que existem duas possíveis soluções para q_3 !

Aplicação da cinemática inversa (3)

O valor de q_2 é determinado através da diferença entre α e β :

$$q_2 = \beta - \alpha \quad \text{sendo} \quad \beta = \arctg\left(\frac{p_z}{r}\right) = \arctg\left(\frac{p_z}{\pm\sqrt{p_x^2 + p_y^2}}\right)$$
$$\alpha = \arctg\left(\frac{l_3 \sin q_3}{l_2 + l_3 \cos q_3}\right)$$

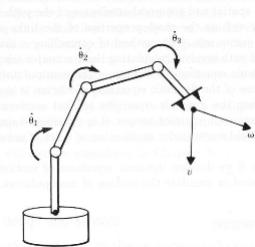
Pelo que q_2 será:

$$q_2 = \arctg\left(\frac{p_z}{\pm\sqrt{p_x^2 + p_y^2}}\right) - \arctg\left(\frac{l_3 \sin q_3}{l_2 + l_3 \cos q_3}\right)$$

Jacobiano

- Definição das equações que regem a velocidade e aceleração.
- A relação geométrica entre as taxas de variação das juntas e a velocidade da ferramenta podem ser descritas através de uma matriz designada por Jacobiana.

$$v_N = J(q)\dot{q}$$



sendo:

- v_N o vector da velocidade espacial da ferramenta,
- \dot{q} o vector de dimensão N composto das velocidades das juntas,
- $J(q)$ é uma matriz de dimensão $6 \times N$ cujos elementos são funções não lineares q_1, \dots, q_N .

Dinâmica

- Uma vez calculados as posições, velocidades e acelerações, usando técnicas da cinemática, é necessária a utilização de métodos da área da dinâmica para estudar o efeito de forças nesses movimentos.
- A relação entre os torques aplicados pelos actuadores e o movimento resultante do manipulador está embutida nas equações dinâmicas de movimento.
- Duas abordagens:
 - Dinâmica directa: cálculo de acelerações no robô uma vez conhecidas as forças aplicadas. Utiliza simulações computacionais do robô.
 - Dinâmica inversa: cálculo das forças necessárias para criar uma aceleração da ferramenta predefinida.

Paulo Leitão, Tecnologias

63

Sensores de Tacto

- Objectivo: determinar o contacto entre dois objectos, sendo um deles a garra ou a ferramenta do robô, e o outro a peça sobre a qual o robô vai efectuar uma dada operação.
- Dois tipos de sensores de tacto:
 - Sensor de Toque
 - » Indica que houve contacto sem tomar em consideração a amplitude da força desse contacto.
 - » Exemplos: interruptores de fim de curso, etc.
 - » Aplicações: quando se pretende saber se o robô tocou em algum objecto.
 - Sensor de Força
 - » Indica se existe contacto e também a amplitude dessa força.
 - » Exemplo: célula de carga entre o punho do robô e a garra ou ferramenta.
 - » Aplicações: manipulação de peças frágeis e de montagem.



Paulo Leitão, Tecnologias

64

Sensores de Proximidade e Visão Artificial

• Sensores de Proximidade

- Detecção de objectos na proximidade de outros, podendo ainda fornecer uma medida dessa distância relativa entre os objectos.
- Exemplos: ópticos, acústicos, indutivos, etc.
- Aplicações: detecção de objectos na proximidade do robô, detecção da distância a que um objecto se encontra do punho do robô, etc.

• Visão Artificial

- Tratamento digital da imagem fornecida por uma câmara de vídeo, permitindo a identificação de objectos e determinação da sua localização e geometria.
- Constituição: câmara (matriz de CCD's), hardware para digitalização dos valores das intensidades obtidos na matriz, hardware e software necessários para efectuar o interface entre estes dois equipamentos e entre o sistema e o utilizador.
- Aplicações: inspecção industrial, montagem e robótica móvel.

Paulo Leitão, Tecnologias

65

Garras Mecânicas

- Pegar e segurar em objetos, utilizando dedos mecânicos atuados por um mecanismo para realizar o movimento de abertura e fecho dos dedos.
- Os dedos (ou pinças) são os apêndices das garras que efetuam o contacto com os objetos a agarrar.
- O mecanismo das garras deve ser capaz de:
 - Abrir e fechar os dedos da garra;
 - Exercer uma força suficiente, quando fechado, para segurar as peças que foram agarradas.
- A energia para atuação dos dedos pode ser:
 - Pneumática;
 - Elétrica, de fácil controlo do valor da força a exercer sobre as peças;
 - Mecânica;
 - Hidráulica, para aplicações que precisem de forças elevadas.



Paulo Leitão, Tecnologias

66

Garras Magnéticas

- Manuseamento de materiais ferrosos, especialmente na forma de chapas ou placas metálicas.
- Tipos de garras magnéticas:
 - **electroímans** - necessitam de uma fonte de energia externa, mas são mais fáceis de controlar e eliminam o magnetismo residual;
 - **ímans permanentes** - não necessitam de fonte de energia externa, mas apresentam uma menor facilidade de controlo.
- Vantagens
 - os tempos para pegar nas peças são muito rápidos;
 - adaptação a variações nos tamanhos das peças a pegar;
- Desvantagens
 - magnetismo residual;
 - deslizamento lateral das peças durante o transporte;
 - impossibilidade de apanhar apenas uma chapa de uma pilha.

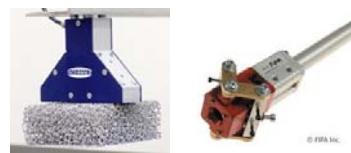
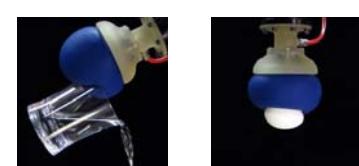


Paulo Leitão, Tecnologias

67

Outro Tipos de Garras

- Garras de sucção
 - Manuseamento de objectos planos, lisos e limpos (condições necessárias para que se forme um vácuo satisfatório). Exemplo: placas de vidro.
- Garras adesivas
 - Indicadas para o manuseamento de têxteis e outros materiais leves.
- Garras de agulhas
 - Indicadas para manusear materiais macios e que possam ser perfurados, ou pelo menos picados. Exemplo: têxteis, plásticos, borrachas, etc.

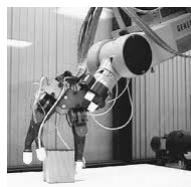


Paulo Leitão, Tecnologias

68

Outro Tipos de Garras (2)

- Garras insufláveis ou de diafragma
 - Indicadas para aplicações que envolvam a manipulação de objetos frágeis.
- Garras com dedos articulados
 - Indicados para o manuseamento de objetos frágeis.
- Garras do tipo mão:
 - Desenvolvimento de uma garra que permita pegar e manusear uma grande variedade de objetos com diferentes geometrias.



Stanford/JPL Hand



Shadow Robot Company



Elumotion Ltd

69

Ferramentas para Robôs

- Actuadores finais cuja finalidade é realizar trabalho sobre uma peça em vez de pegar nelas.
- Exemplos de ferramentas típicas:
 - Pinças de soldadura por pontos
 - » Constituídas por dois eléctrodos, que ao fechar provocam a passagem de corrente eléctrica num ponto da chapa a soldar, criando a fusão dos materiais.
 - Tochas de soldadura por arco eléctrico
 - » Esta é a aplicação em que os robôs são mais utilizados. A alimentação de energia eléctrica, gás e fio efectuada ao longo do braço do robô.



Paulo Leitão, Tecnologias

70

Outras ferramentas para Robôs

– Pistolas de pintura

- » As pistolas de pintura tem por função vaporizar a tinta, podendo ser do tipo elétrico ou pneumático.



– Ferramentas rotativas

- » Ferramenta fixa na extremidade do robô.
- » Uma aplicação típica é o aparafulamento de parafusos.



Paulo Leitão, Tecnologias

71

Programação de Robôs Industriais

- Geração de um programa de controlo do robô, de uma forma simples e amigável para o utilizador.
- Os movimentos do robô englobam duas tarefas básicas:
 - alcançar uma posição alvo programada;
 - mover-se ao longo de uma trajectória programada com velocidades definidas.
- Tarefa bastante dispendiosa e que consome muito tempo.
- Métodos de programação de robôs:
 - Quanto à necessidade de utilização do robô para a programação:
 - » Programação “on-line”.
 - » Programação “off-line”.
 - Quanto ao tipo de programação:
 - » Programação explícita.
 - » Programação implícita.

Paulo Leitão, Tecnologias

72

Programação *On-line* e *Off-line*

• Programação “*On-line*”

- Envolve directamente o robô, cuja actividade principal da programação “*on-line*” é a definição de trajectórias.
- Vantagem: simplicidade na programação e a sua aprendizagem.
- Desvantagem: paragem do robô com as consequentes perdas de produtividade que daí advêm.

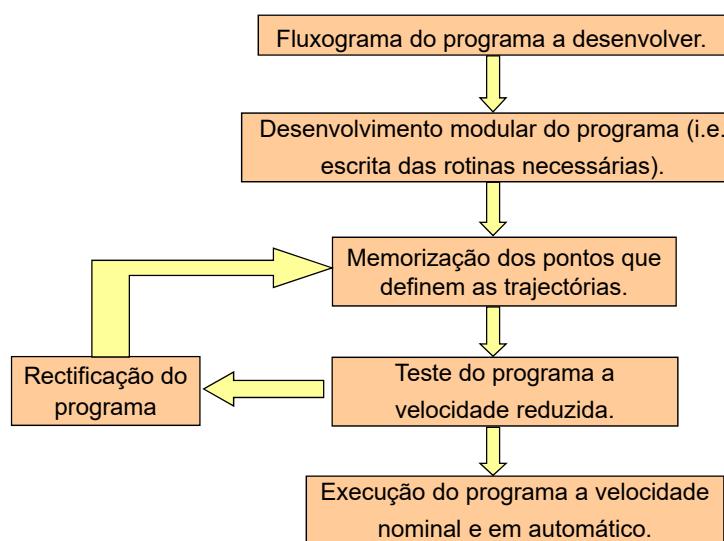
• Programação “*Off-line*”

- Possibilita a programação do robô sem ser necessário a sua utilização durante esta tarefa.
- Sequência de tarefas na programação *off-line*:
 - » Calibração do modelo do robô e da célula.
 - » Geração do código para o robô: programas desenvolvidos na linguagem nativa do robô e programas desenvolvidos em linguagem neutra.
 - » Descarga do programa para o robô.

Paulo Leitão, Tecnologias

73

Passos na elaboração de um Programa



Paulo Leitão, Tecnologias

74

O que é um Programa

- Conjunto de instruções e dados, programados numa linguagem própria (RAPID no caso da ABB), que controlam o robô e equipamentos periféricos.
- Consiste, normalmente, nos seguintes componentes:
 - Rotina principal, que é a rotina que inicia a execução do programa.
 - Subrotinas, que são usadas para subdividir o programa em pequenas partes, de forma a optimizar o desenvolvimento e leitura do programa (programação em blocos). A chamada de uma subrotina é feita pela rotina principal ou por outra rotina.
 - Dados do programa, usados para definir posições, valores numéricos (registos, contadores, etc.), sistemas de coordenadas, etc. Estes dados podem ser alterados manualmente ou através do programa.
 - Instrução, que reflecte a acção específica que se pretende executar, por exemplo movendo o robô.

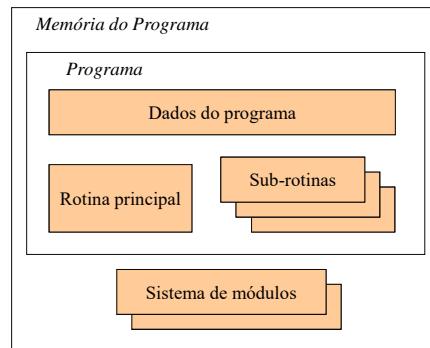
Paulo Leitão, Tecnologias

75

Módulos

A memória do programa contém, adicionalmente, um sistema de módulos, que são programas que estão sempre presentes na memória.

Rotinas e dados relacionados com a instalação , como sejam ferramentas e rotinas de serviço, são armazenados no sistema de módulos.

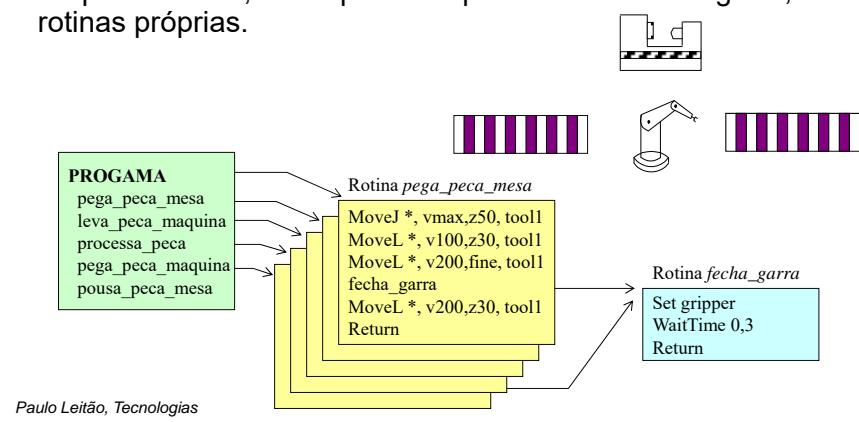


Paulo Leitão, Tecnologias

76

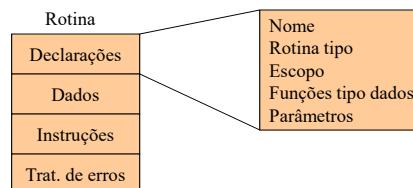
Rotinas

- O programa deve ser dividido em várias subrotinas para facilitar a leitura do programa.
- Sequências de instruções, às quais o programa recorre frequentemente, como por exemplo abrir e fechar a garra, devem ter rotinas próprias.



Tipos de Rotinas

- Procedimentos, que podem ser descritos como um número de instruções que executam uma tarefa específica, como seja trocar de ferramenta, soldar uma peça, etc.
- Funções, que retornam valores, sendo por exemplo utilizadas para deslocar uma posição ou ler uma entrada.
- Rotinas trap, que são utilizadas para proceder a interrupções.



A declaração especifica, entre outros, parâmetros de rotina: e.g. o movimento do robô de uma distância, que lhe é fornecida como parâmetro.

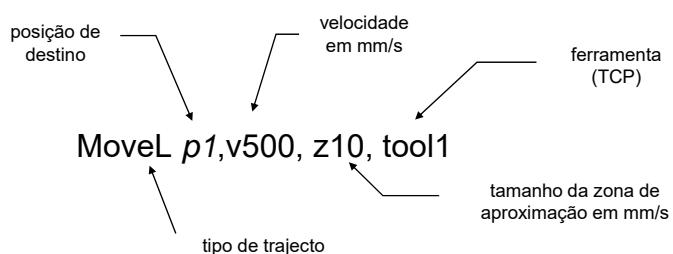
Instruções

- Tarefa a realizar quando é executada.
- Exemplos: movimento do robô, actualização de uma saída, alteração de dados, etc.
- Uma instrução comprehende o nome, que especifica a tarefa a realizar, e os argumentos, que especificam as características.
- Os argumentos podem ser especificados como:
 - valores numéricos, por exemplo 10
 - valores tipo texto, por exemplo “Espera fim de processamento”
 - dados, por exemplo var1
 - funções de chamada, por exemplo Abs (var1)
 - expressões, por exemplo var1 + var2

Paulo Leitão, Tecnologias

79

Instruções de Movimento



Tamanho da zona (precisão):

- Distância a que o robô deve estar da posição de destino antes de iniciar o movimento em direcção à próxima posição; se *fine*, o robô move-se para a posição.

Posição de destino:

- *p1*, armazenada na variável p1
- *, armazenada na instrução

Paulo Leitão, Tecnologias

80

Exemplos de Instruções de Movimento

- Movimento Ponto a Ponto

MoveJ p1,v500, fine, tool1 → move o robô para a posição p1, sem controlo da trajectória.

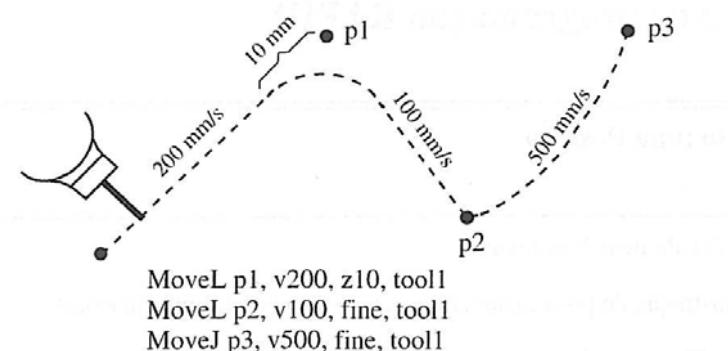
- Movimento Linear

MoveL p1,v500, fine, tool1 → move o robô linearmente para a posição p1.

- Movimento Circular

MoveC p2, p1,v500, fine, tool1 → move o robô para a posição p2, passando pela posição p1.

Posicionamento do Robô



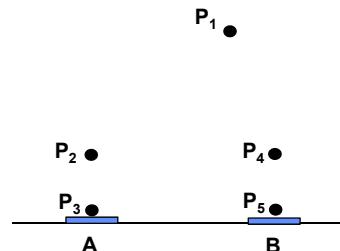
Exemplo típico de "pick and place"

- Definir os pontos:

- P1: acima da peça de trabalho com segurança
- P2: 10 cm acima do recipiente A
- P3: em posição para actuar no recipiente A
- P4: 10 cm acima do recipiente B
- P5: em posição para actuar no recipiente B

- Definir os pontos:

- Move para P1
- Move para P2
- Move para P3
- Fecha manipulador
- Move para P4
- Move para P5
- Abre manipulador
- Move para P1 e termina



To Do: Elaborar o programa em RAPID

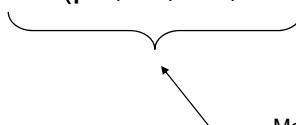
Paulo Leitão, Tecnologias

83

Instruções com *Offsets*

- Simplificação na programação de trajectórias.
- Programação das posições relativas a um ponto referencial.

MoveL offs(p1,10, 20,100),v100, Z50, tool1

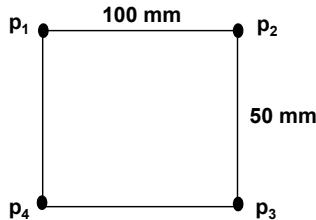


Movimento do robô para uma posição que dista de p1:
- 10 mm no eixo XX
- 20 mm no eixo YY
- 100 mm no eixo ZZ

Paulo Leitão, Tecnologias

84

Exemplo de Aplicação



Sem offsets

```
MoveL p1, ...
MoveL p2, ...
MoveL p3, ...
MoveL p4, ...
MoveL p1, ...
```

Com offsets

```
MoveL p1, ...
MoveL Offs(p1,100,0,0), ...
MoveL Offs(p1,100,50,0), ...
MoveL Offs(p1,0,50,0), ...
MoveL p1, ...
```

Instruções de Espera

- WaitDI di1,1 → espera que a entrada seja 1
- WaitUntil di1 = 1, di2 = 1
- WaitTime 0,5 → espera que passem 0,5 segundos

Utilização de Saídas/Entradas

- Leitura do estado do processo e actuação no ambiente.

SetDO do2, 1 → coloca a saída *do2* a 1

Reset do2 → coloca a saída *do2* a 0

- Exemplo: fechar e abrir garra.

```
PROC abre_garra()
    Reset DOfecha;
    PulseDO\PLength:=0.2,DOabre;
    WaitTime 0.5;
ENDPROC
```

```
PROC fecha_garra()
    Reset D0abre;
    PulseDO\PLength:=0.2,DOfecha;
    WaitTime 0.5;
ENDPROC
```

Paulo Leitão, Tecnologias

87

Testes e Ciclos

- Utilização da instrução IF .. THEN

```
IF decision = 1 THEN
    MoveJ p1,v500, fine, tool1;
    contador:=13;
ENDIF
IF decision = 2 EXIT;
IF decision<1 or decision>3 GOTO LABEL1;
```

- Utilização de ciclos

```
FOR i FROM 1 TO contador DO
    routine2;
ENDFOR
```

Paulo Leitão, Tecnologias

88

Interacção com o Utilizador

- Necessidade de interacção com o utilizador para executar o programa.
- Exemplos: qual o tapete a depositar peça, qual o tamanho da pilha de peças, etc.
- Algumas instruções:
 - TPErase → apaga o display do Teachpendant
 - TPWrite "Mensagem ..." → escreve mensagem no Teachpendant
 - TPReadNum tipo,"" → lê entrada do utilizador e guarda na variável *tipo*
 - TPReadFK regA,"Deseja mover peças?",stEmpty,stEmpty,stEmpty,"Sim","Nao";
» IF regA=4 GOTO LABEL2; IF regA=5 EXIT;

Paulo Leitão, Tecnologias

89

Expressões

- Uma expressão é utilizada como argumento de uma instrução e pode ter um número arbitrário de componentes.
- Tipos de expressões:
 - Lógicas
 - » Tem valor verdadeiro ou falso e são utilizadas com testes, por exemplo:
IF var1 = 5 AND var2 > 10 ...
 - Aritméticas
 - » Tem um valor numérico e são utilizadas nos cálculos, por exemplo:
$$\text{var1} = \text{var2} + 5 * \text{var2}$$
 - Strings
 - » Por exemplo:
TPWrite "Espera fim de processamento"

Paulo Leitão, Tecnologias

90

Segurança na Robótica

- Os robôs são máquinas potencialmente perigosas, sendo o número de acidentes reduzidos, ocorrendo durante a sua programação ou manutenção.
- Normas internacionais:
 - Norma ISO 10210;
 - Norma ANSI/IRIA R15.06-1986;
 - Norma Alemã DIN EN 775.
- Causas dos erros:
 - falha no sistema de controlo, erros de software, interferências eléctricas;
 - entrada não autorizada de pessoas na área de trabalho;
 - falhas eléctricas, pneumáticas ou hidráulicas;
 - falhas mecânicas: fadiga, sobrecargas, corrosão;
 - falhas ambientais: poeiras, fumos, radiações, etc.;
 - incêndios: salpicos por exemplo na soldadura.

Paulo Leitão, Tecnologias

91

Protecção Passiva e Activa

- **Medidas de Protecção passivas**
 - Regras implementadas de forma a evitar a ocorrência de situações que possam levar à ocorrência de acidentes.
 - » as marcações e os sinais que indicam as zonas de perigo devem diferir claramente de todas as outras marcações existentes na fábrica;
 - » o robô só deve ser operado manualmente em condições de programação ou de erro;
 - » a célula do robot devem ser mantidos numa condição ordeira e limpos;
 - » evitar roupas largas ou que possam facilmente ficar presas no robô.
- **Medidas de Protecção Activas**
 - As medidas de protecção activas destinam-se a limitar os efeitos da ocorrência de acidentes. Exemplos:
 - » circuito de paragem de emergência;
 - » prefixação das saídas e vedação das células robotizadas;
 - » protecção contra colisões.

Paulo Leitão, Tecnologias

92

Soldadura Robotizada

- De que se trata?

- Processo de juntar permanentemente dois ou mais partes metálicas, soldando ambos os materiais.
- O processo de soldadura exige precisão e contém tarefas repetitivas.
- A soldadura robotizada significa que a soldadura é executada e controlada por um equipamento robotizado.

- Vantagens da utilização de sistemas robotizados:

- Melhor precisão, produtividade e repetibilidade.
- Eficiência (um sistema robotizado trabalha 24 horas por dia, 365 dias por ano sem interrupções).
- Redução dos custos de pessoal e dos riscos de acidente.

- Métodos de soldadura robotizada (diferentes fontes de calor):

- Soldadura por arco (arc welding).
- Soldadura por pontos (spot welding).

Paulo Leitão, Tecnologias

93

Robotic Arc Welding

- Arc welding is one of several fusion processes for joining metals.
- It involves applying intense heat, produced by an electric arc, to metal at a joint between two parts so that the parts melt and intermix.
- The arc is formed between the actual work and an electrode (stick or wire) that is guided along the joint.
- Since the joining is an intermixture of metals, the final welded part has potentially the same strength properties as the metal of the parts.
- Automated arc welding offers many advantages:
 - Consistency of quality welds
 - Repeatability
 - Reduction of production costs
 - Fewer scrapped parts
 - Increase your return on investment (ROI)
 - Faster cycle rates

Paulo Leitão, Tecnologias

94

Components of a Robotic Arc Welding Cell

- Arc welding robot
- Power source
- Welding torch
- Wire feeder
- Welding fixtures and workpiece positioners
- Torch cleaner
- TCP calibration unit



Paulo Leitão, Tecnologias

95

Arc Welding Power Sources

- Designed to provide electric power of the proper values and characteristics to maintain a stable arc suitable for welding.
- Must deliver controllable current at a voltage according to the requirements of the welding (normally, 10 to 35 V and from 5 to 500 A).
- Three types of arc welding power sources, distinguished according to their static characteristics output curve:
 - The constant-power (CP) is the conventional type used for submerged and gas tungsten arc welding, using stick electrodes.
 - The constant-voltage (CV) is the type normally used for gas metal arc and flux cored arc welding using small-diameter electrode wire.
 - The constant-current (CC) is normally used for gas tungsten arc and plasma arc welding.
- The selection of a welding power source is dependent on:
 - Process to be used, required current and power available at the site.
 - Economic factors and convenience.



Paulo Leitão, Tecnologias

96

Welding Torch

- A welding torch is used to:
 - Direct the welding electrode into the arc,
 - Conduct welding current to the electrode,
 - Deliver shielding gas, if one is used, to the arc area (gas metal arc welding uses a shielding gas that may be an active gas usually CO₂ or a mixture of an inert gas, normally argon, with CO₂ or oxygen).
- Several types of welding torches, dependent on the welding process, welding current, electrode size and shielding medium.
- Welding torches can be categorized according to the way in which they are cooled:
 - Water-cooled with circulating cooling water
 - Air-cooled with ambient air.
- A torch can be described according to whether it is a straight torch or has a bend in its barrel.



Paulo Leitão, Tecnologias

97

Wire Feeder

- Wire feeders are used to add filler metal during robotic welding.
- Normally, the wire feeder for robotic welding is mounted on the robot arm, separate from the power supply.
- For robotic welding, a control interface between the robot controller, the power supply and wire feeder is needed.
- There are two basic types of wire feeders:
 - The electrode wire feeder is used for the consumable electrode wire process. Two types of electrode wire feeders:
 - » the CP power source requires a voltage-sensing wire feed system in which the feed rate may be changing continuously,
 - » the CV system requires a constant feed rate during the welding operation.
 - The cold wire feeder is especially used for gas tungsten arc welding:
 - » the electrode is not part of the circuit, and the filler wire fed into the arc area melts from the heat of the arc and becomes the weld metal.



Paulo Leitão, Tecnologias

98

Welding Fixtures and Workpiece Positioners

- Welding fixtures and workpiece manipulators hold and position parts to ensure precise welding by the robot.
- The tool must allow for quick and easy loading, it must hold the parts in place securely until they are welded together and must allow the welding gun unrestricted access to each weld point.
- The loading and unloading stationary jigs of the robot cell can be time consuming and impractical.
- The productivity of the robot welding cell is speeded up by having an automatically rotating or switching fixture, so that the operator can be fixing one set of parts while the robot is welding another.



Paulo Leitão, Tecnologias

99

Torch Cleaner

- The nozzle of the torch is close to the arc and will gradually pick up spatter.
- A torch cleaner (normally automatic) is often used in robot arc welding systems to remove the spatter.
- The cleaning systems of arc welding guns spray an anti-spatter agent into the nozzle of the gun to remove the accumulated spatter.
- The cleaning system is automatically activated at required intervals by the welding control system.
- Additionally, tools to cut the wire should be available.



Paulo Leitão, Tecnologias

100

TCP Calibration Unit

- The calibration of the TCP (Tool Center Point) is important to guarantee that the electrode tip and the tool frame are accurately known with respect to each other.
- An automatic TCP calibration device and an end-of-arm sensor facilitate this time consuming task.
- End-of-arm sensing, in the context of robotic welding, is used to detect the actual position of the seam on the workpiece with respect to the robot tool frame.
- It is not only required a technique that enables the frames to be automatically calibrated, but that also enables the system to quickly determine if recalibration is necessary.

Paulo Leitão, Tecnologias

101

Soldadura por arco com gás de proteção MIG/MAG

- Processo de soldadura por arco eléctrico onde o metal de solda é protegido da atmosfera por um fluxo de gás, ou mistura de gases:
 - Inerte (MIG - Metal Inert Gas), normalmente o Argônio ou Hélio
 - Activo (MAG- Metal Active Gas), normalmente o CO₂.
- É utilizada a corrente contínua (CC) e geralmente a solda é utilizada no pólo positivo (polaridade inversa).
- As correntes mais usadas são de 50A até mais do que 600A, com tensões de soldadura de 15V até 32V.
- Aplicável à soldadura da maioria dos metais utilizados na indústria como os aços, o alumínio, aços inoxidáveis e cobre.

Paulo Leitão, Tecnologias

102

Robotic Spot Welding

- Also referred as resistance welding.
- Automatic welding imposes specific demands on resistance welding equipment.
- Often, equipment must be specially designed and welding procedures developed to meet robot welding requirements.
- Benefits of spot welding robots:
 - Consistency of quality welds.
 - Repeatability.
 - Reduction of costs.
 - Increase your return on investment (ROI).
 - More movement flexibility.

Paulo Leitão, Tecnologias

103

Components of a Robotic Spot Welding Cell

- Spot welding robot
- Spot welding gun
- Weld timer
- Electrode tip dresser
- Spot welding swivel



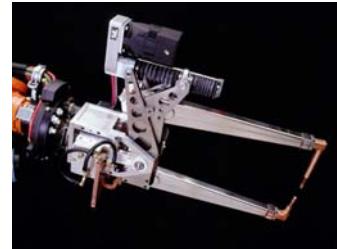
Paulo Leitão, Tecnologias

104

Spot Welding Gun

- A spot welding gun applies appropriate pressure and current to the sheets to be welded.
- Different types of welding guns:
 - "C"-type gun, where the operating cylinder is connected directly to the moving electrode; they are generally the cheapest type of gun.
 - "X"-type (also known as "Scissors" or "Pinch") where the operating cylinder is remote from the moving electrode, being the force applied by means of a lever arm.
- Pneumatic guns are usually preferred because they are faster, and they apply a uniform electrode force.
- Hydraulic guns are normally used where space is limited or where high electrode forces are required.

Paulo Leitão, Tecnologias



105

Weld Timer

- An automated spot welding cell needs control equipment to initiate and time the duration of current.
- A spot weld timer (weld control unit) automatically controls welding time when spot welding.
- It also may control the current magnitude as well as sequence and time of other parts of the welding cycle.



Paulo Leitão, Tecnologias

106

Electrode Tip Dresser

- During the spot welding process the welding electrodes are exposed to severe heat and pressure, which will deform (mushroom) the electrodes.
- Problems of having deformed electrodes:
 - The weld control is called upon to "step" up the welding current in order to compensate for "mushroomed" weld tips.
 - The production line will have to be shut down in order to replace the electrodes or to manually go in and hand dress the electrodes.
 - Unnecessary high consumption of energy and electrodes.
- An automatic tip-dresser, mounted on the line where it can be accessed by the robot, is used to restore the shape of the electrodes.
- The robot is programmed to dress periodically the electrodes,
 - After each working cycle and depending on how many spot-welds are done in each cycle.
 - Example: for welding in galvanized sheet, dressing after 25 spot-welds is recommended.
 - The dressing takes approximately 1 to 2 seconds, and is performed when the work pieces are loaded, unloaded and transported.

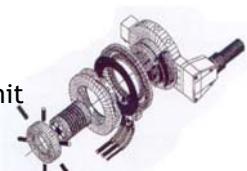


Paulo Leitão, Tecnologias

107

Spot Welding Swivel

- The cables and hoses used for current and air tend to limit the capacity of movement of the robot wrist.
- The swivel unit, which fits directly onto the weld-gun fixture plate without any hoses or cables,
 - Ensures the highest quality condition of the spot-weld.
 - Passage of compressed air, cooling water, electric current and signals through different channels within a single rotating unit.
- Basic advantages are:
 - Less work space needed: no mass of cables and hoses hanging from the robot arm, resulting in floor space economy.
 - Improved accessibility: since no limitation on the robot wrist caused by any cables or hoses.
 - Improved safety: through reduction of air, electric and water lines.
 - Saving in capital equipment: compact weld-gun assembly accessible to areas blocked by transformer, cables, and control boxes.
 - Reduced try-out costs: no undefined cables exist on the robot, which reduces programming time to minimum.



Paulo Leitão, Tecnologias

108

Welding Safety

- Welding is a manufacturing process with known potential hazards.
- The use of robots requires appropriate safety features in order to protect from the potential dangers.
- When the robot is in operation it is necessary that people remain outside the work envelope, implementing the following measures:
 - Barriers must be designed to completely surround the robot and eliminate the possibility of people climbing over or under to get inside the barrier.
 - All doors and maintenance openings must be protected by safety switches, and the weld areas must be safe guarded so that the power is immediately removed from the robot when a door is opened.
 - Emergency stop buttons should be placed on all operator panels, robot cabinets and robot programming panels.
 - Signal lights must be arranged on the robot or in the robot area to indicate that the robot is powered.

Paulo Leitão, Tecnologias

109

Intelligent industrial robots

- Adapt, reason and respond to changes in the environment.
- Three aspects to introduce intelligence:
 - Artificial vision (eyes)
 - Tactile and force sensors (fingers)
 - Artificial intelligence (brain)
- Well matured platforms and market becoming saturated in a mid- long-term.

Paulo Leitão, Tecnologias

110

Intelligent industrial robots (2)

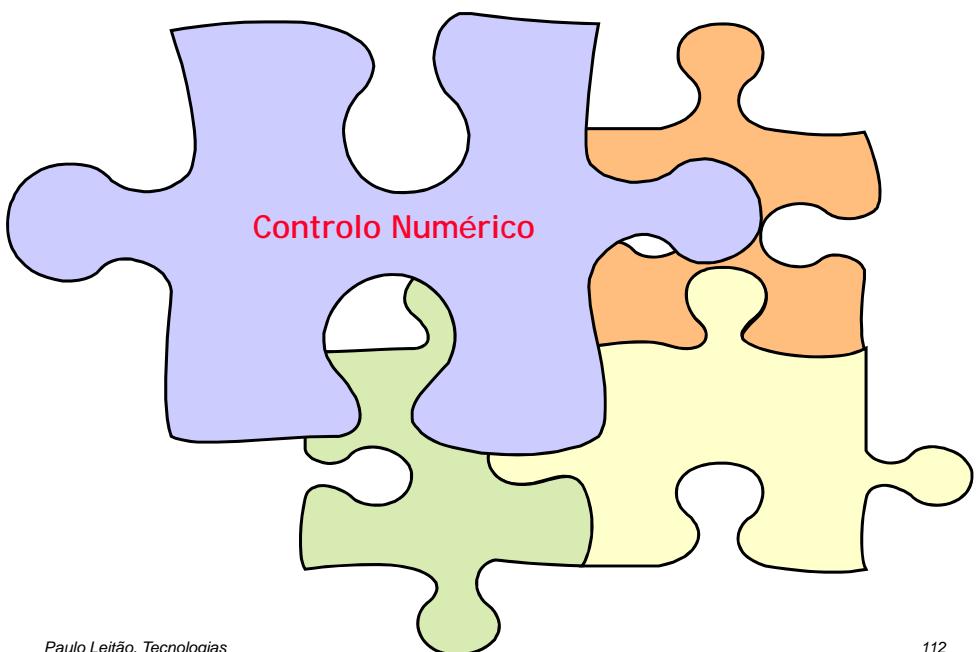
Examples:

- Motoman: Collaborative Robotics and Functional Safety
- Kuka: Synchronized dancing industrial robots
- KUKA you Bot: Happy Easter
- ABB: Robot show off
- Programming by demonstration
- Universal Robots has reinvented industrial robotics
- Rubic Cube Solving
- Catching objects in the flight
- Paul the robot drawing Patrick

What are intelligent ones?

Paulo Leitão, Tecnologias

111



Paulo Leitão, Tecnologias

112

Controlo Numérico - Definição

- A primeira máquina com controlo numérico (NC) foi demonstrada com sucesso nos anos 50 no Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Uma máquina NC é em termos funcionais semelhante a uma máquina convencional, diferindo na maneira como as funções e os movimentos da máquina são controlados.

O que é então o controlo numérico?

- Uma forma de automação programável no qual o equipamento de processamento é controlado por programas que permitem executar sequências de operações complexas dentro da máquina, sem o auxílio do operador humano.

Características e Vantagens

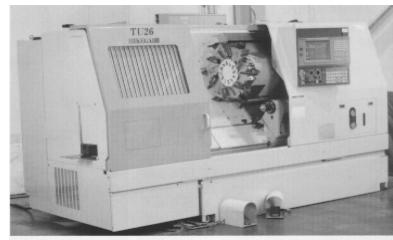
- Características

- Capacidade de realização de diferentes operações de maquinagem, com um setup e controlo de um programa.
- Mudança automática de ferramentas.
- Posicionamento automático das peças.

- Vantagens

- Tempo de não operação reduzido
- Fixações reduzidas
- *Lead time* reduzido
- Maior flexibilidade de fabrico
- Maior facilidade de realizar alterações de engenharia na peça
- Melhoria na precisão e redução dos erros humanos

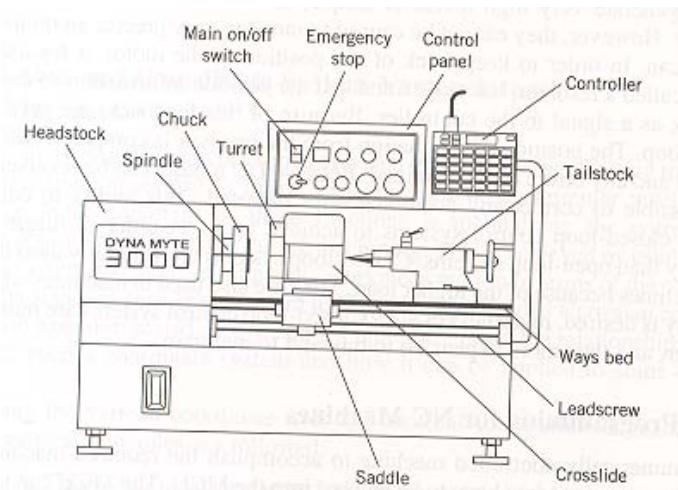
Exemplos



Paulo Leitão, Tecnologias

115

Máquina Controlo Numérico Típica



Paulo Leitão, Tecnologias

116

Componentes duma Máquina NC

- Controlo Numérico
 - Responsável pela execução do programa de maquinado.
- Equipamento de Processamento
 - Conjunto de dispositivos eléctricos e mecânicos que executarão o programa.
- Programa
 - Sequência de instruções de maquinado.
- Armazéns internos de ferramentas
 - Mudança automática de ferramenta, permitindo executar com o mesmo programa diversas operações com diferentes ferramentas.
- Sistemas auxiliares
 - Sistemas de colisão, desgaste ou ruptura de ferramentas.
- Sistemas de medição de peças
 - Implementação de controlo de qualidade da peça dentro da máquina.

Paulo Leitão, Tecnologias

117

Sistemas de Controlo: Malha Aberta

- Utilização típica de motores passo a passo.
- Sinais na forma de impulsos de corrente são enviados individualmente para cada motor a ser controlado.
- Cada impulso provoca uma pré-definida quantidade de revolução no motor. Para provocar um movimento específico, o sistema de controlo determina quantos impulsos são necessários e envia precisamente esse número para o motor.
- Não existe possibilidade de correcção do movimento, quaisquer que forem os erros que possam ocorrer durante a operação.
- Estes sistemas são menos dispendiosos, menos complexos e mais fáceis de manter.
- Vulgarmente são utilizados em máquinas de pequeno porte, uma vez que os motores passo a passo não conseguem gerar a mesma quantidade de binário que outros tipos de motores.

Paulo Leitão, Tecnologias

118

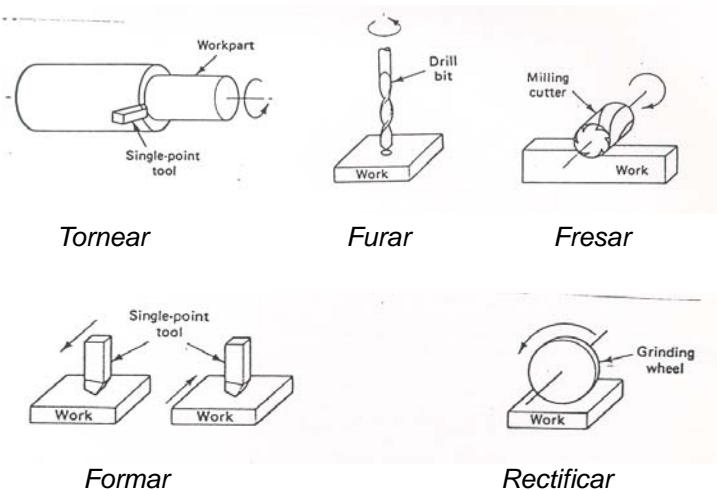
Sistemas de Controlo: Malha Fechada

- Utilização de motores DC, assincronos ou de indução.
- Capacidade de gerar elevados níveis de binário e possibilidade de inversão instantânea de sentido de marcha.
- Utilização de sensores, por exemplo resolvers ou encoders, para determinar a posição do motor.
- A correcção de erros garante melhor exactidão do que os sistemas em malha aberta.
- Utilização em máquinas NC de grande porte e quando se pretende melhor exactidão.
- Sistemas de controlo mais complexos, mais dispendiosos para comprar e manter.

Paulo Leitão, Tecnologias

119

Tipos de Processos de Maquinagem



Paulo Leitão, Tecnologias

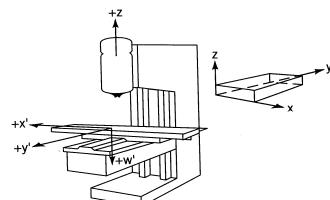
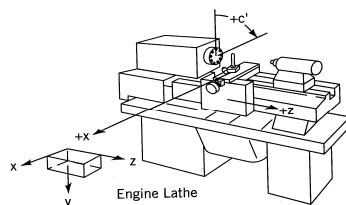
120

Sistemas de Coordenadas

- Uma das mais importantes funções num programa de maquinado é a manutenção correcta da ferramenta (em relação à peça a maquinar).



- Estabelecer um Sistema de Coordenadas.
- O sistema standard de coordenadas é o sistema cartesiano, que apresenta os eixos x, y e z.



Paulo Leitão, Tecnologias

121

Definição dos Eixos

- **Eixo z**
 - É o eixo mais importante para a maquinado e é sempre alinhado com a arvore.
- **Eixo X e Y**
 - São os eixos de movimento, no qual o elemento móvel está posicionado.
- **Eixos lineares suplementares**
 - Em algumas máquinas existem movimentos lineares secundários paralelos aos eixos X, Y e Z. São designados por U, V e W.
- **Eixos rotacionais**
 - Os movimentos A, B e C são movimentos rotacionais relacionados com eixos paralelos aos eixos X, Y e Z respectivamente.
- **Rotação da arvore**
 - A rotação da arvore no sentido dos ponteiros dos relógios é considerada positiva (Clockwise).

Paulo Leitão, Tecnologias

122

Referênciais

- Um programa de maquinção inclui entre outros,
 - comandos de movimento da ferramenta para variados pontos relativos à peça,
 - os quais devem ser definidos com base num ponto de referência, designado por origem.
- Um ponto zero é o conjunto de coordenadas que serve de origem no programa.
- Tipos de zero:
 - Zero fixo
 - » Ponto definido pelo fabricante, normalmente designado por zero máquina.
 - Zero flutuante
 - » Ponto que pode ser definido dentro da zona de trabalho da máquina.

Paulo Leitão, Tecnologias

123

Posicionamento

- Absoluto
 - A posição de destino da ferramenta, num dado movimento, é dada relativamente ao ponto de origem do programa.
 - Em termos de sistema de controlo, o cálculo da trajectória é mais simples.
 - Por outro lado, do ponto de vista do programador, este tipo de posicionamento é mais exigente em termos de numero de cálculos adicionais que são necessários realizar.
- Incremental
 - A próxima posição da ferramenta é dada relativamente à actual posição da ferramenta.

Paulo Leitão, Tecnologias

124

Parâmetros de Maquinagem

- **Velocidade de corte (Cutting speed)**
 - Velocidade relativa da ferramenta em relação à superfície de trabalho (mm/min).
- **Avanço da ferramenta (Tool feed)**
 - Deslocamento lateral da ferramenta por passagem ou revolução desta (mm/rev ou mm/pass).
- **Velocidade de avanço (Feed rate)**
 - Velocidade de deslocamento lateral da ferramenta (mm/min).
- **Profundidade de corte (Depth of cut)**
 - Distância a que a ferramenta penetra na peça abaixo da superfície original (mm).

Paulo Leitão, Tecnologias

125

Programação de Máquinas NC

- Um programa é estruturado em *blocos*, cada um dos quais inclui um ou mais comandos, sendo a conjugação destes que permite a execução de determinada operação.

N50 G01 X20 Z50 F0,5

- Formato na organização dos comandos dentro de um bloco:
 - Fixed Sequencial
 - » Utiliza apenas números, consistindo cada bloco no mesmo nº de comandos e cada comando num determinado nº de caracteres.
 - Tab Sequencial
 - » Semelhante ao anterior, com a diferença de que cada comando dentro do bloco é precedida pelo caracter TAB.
 - Word Address
 - » Utilização de códigos que referenciam os comandos.

Paulo Leitão, Tecnologias

126

Códigos dos Comandos

- O formato word address é utilizado por todos os controladores modernos.

Endereço	Significado
F	Avanço
G	Função preparatória
I	Interpolação circular: offset eixo X
J	Interpolação circular: offset eixo Y
K	Interpolação circular: offset eixo Z
M	Comandos Variados
N	Numero da sequência
R	Raio
S	Velocidade
T	Posição da ferramenta no armazém
X	Dados do eixo X
Y	Dados do eixo Y
Z	Dados do eixo Z
C	Dados do eixo C

Paulo Leitão, Tecnologias

127

Tipos de Comandos

- Funções Preparatórias
 - Utilizadas para definir os requisitos de maquinação e para estabelecer as condições de operação necessárias.
- Comandos de movimento
 - Utilizados para controlar a quantidade de movimento relativo entre a ferramenta de corte e a peça ao longo do eixo.
- Comandos de Avanço e Velocidade
 - Utilizados para definir e controlar as condições de corte para cada operação individual de maquinação.
- Comandos de Identificação
 - Utilizados para identificar as entidades específicas no programa, tais como ferramentas de corte utilizadas.
- Comandos Variados
 - Utilizados para controlar diversos aspectos da operação da máquina e que não são representados pelos pontos anteriores.

Paulo Leitão, Tecnologias

128

Códigos G

- G00 Movimento rápido
- G01 Movimento linear
- G02 Movimento circular no sentido horário
- G03 Movimento circular no sentido anti-horário
- G04 Interrupção
- G05 Pausa (para intervenção do operador)
- G08 Aceleração
- G09 Desaceleração
- G17 Interpolação circular para o plano X-Y
- G18 Interpolação circular para o plano Z-X
- G19 Interpolação circular para o plano Y-Z
- G81 Ciclo fixo de furação
- G84 Ciclo fixo de roscado
- G90 Dimensões absolutas
- G91 Dimensões incrementais
- G92 Limite de velocidade da arvore
- G94 Unidades em mm/min
- G95 Unidades em mm/ver
- . . .

Paulo Leitão, Tecnologias

129

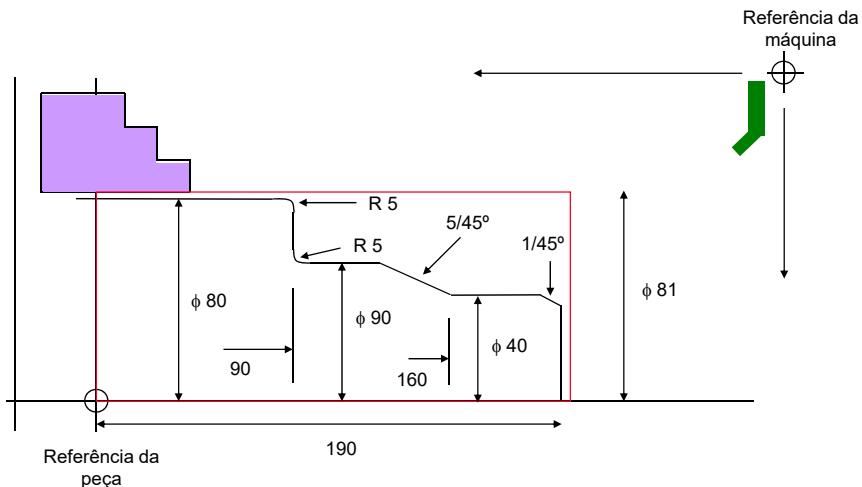
Códigos Variados

- M00 Paragem do programa
- M01 Paragem opcional utilizando o botão de paragem
- M02 Fim do programa.
- M03 Rotação da arvore no sentido horário
- M04 Rotação da arvore no sentido anti-horário
- M05 Paragem da arvore
- M06 Troca de ferramenta
- M08 Liga refrigeração
- M09 Desliga refrigeração
- M17 Fim de sub-rotina
- M30 Fim do programa (rewind)
- M50 Fecha porta (Fresadora Kondia)
- M51 Abre porta (Fresadora Kondia)
- M52 Fecha garras (Fresadora Kondia)
- M53 Abre garras (Fresadora Kondia)
- M98 Chama sub-rotina
- . . .

Paulo Leitão, Tecnologias

130

Programa - Exemplo (1)



Paulo Leitão, Tecnologias

131

Programa - Exemplo (2)

```
%1  
N5 T1 D1      Mudança de ferramenta respectivo corrector  
N10 G54       Definição da referência  
N15 G92 S2500  Definição do limite de velocidade da arvore  
N20 G96 S300 M04  Rotação no sentido horário  
N25 G00 X85 Z 190,1  M08     Avanço rápido para o ponto de aproximação  
N30 G01 X-1 F0,2  Desbasta na vertical até á posição x=-1  
N35 Z191        Recua a ferramenta 1mm em Z mantendo X e F  
N40 G00 X70  
N45 G01 Z90,1    Desbaste de 10 mm  
N50 X80  
N55 G00 Z191  
N60 X60  
N65 G01 Z90,1  
N70 X70  
N75 G00 Z191  
N80 X51  
N85 G01 Z90,1 B5  Efectua curva com raio de 5 mm  
N90 X62
```

Paulo Leitão, Tecnologias

132

Programa - Exemplo (3)

```
N95 G00 Z191  
N100 X41  
N105 G01 Z155 B-5          Executa rampa  
N110 X52  
N115 G00 Z191  
N120 X-0,8                 Começa o acabamento  
N125 G01 Z190  
N130 X40 B-1  
N135 Z160  
N140 X50 Z155              Faz a rampa  
N145 Z90 B5                Desbasta e faz o contorno de 5 mm  
N150 X80 B5  
N155 Z70  
N160 X82  
N165 G00 X200 Z300  
N170 M30
```

Notas:

- O valor de X é dado em diâmetro e o controlador divide-o por dois.
- O acabamento deve ser feito utilizando uma nova ferramenta.

Paulo Leitão, Tecnologias

133

Programação Paramétrica

- Programação avançada que permite maior flexibilidade no programa de maquinação e uma maior gama de operações a executar.
- Características
 - Utilização de variáveis nos programas de maquinação
 - Operações aritméticas e lógicas
 - Operações trigonométricas
 - Operações de ciclos (While ...do, Repeat ... Until, For)
 - Condições (If ... Then ... Else, Case ...)
 - Chamadas a macros
 - Instruções de comunicações

Paulo Leitão, Tecnologias

134

Direct Numerical Control

- O DNC é um sistema em que um computador central controla as operações de várias máquinas NC a ele ligadas.
- Vantagens
 - Gestão de várias máquinas simultaneamente.
 - Maior capacidade de cálculo para funções complexas como seja a interpolação circular.
 - Computador localizado remotamente.
 - Programas armazenados como dados de localização da ferramenta podem ser pós-processados para qualquer máquina.

Paulo Leitão, Tecnologias

135

Desvantagens do DNC

- Se algum problema ocorrer com o computador central, todas as máquinas serão afectadas pelo problema.
- Os cabos de ligação entre o computador central e as máquinas estão vulneráveis a todo o tipo de interferências magnéticas existentes no ambiente fabril.
- A diminuição dos preços do equipamento informático, nomeadamente dos PC's, contribuiu para que os sistemas DNC (em que um computador central controla várias máquinas) desse origem aos sistemas em que existe um computador local destinado ao controlo de cada máquina.

Paulo Leitão, Tecnologias

136

Computer Numerical Control (CNC)

- Sistemas NC usando micro-computadores dedicados como unidade de controlo da máquina.
- Diferenças entre DNC e CNC
 - Os computadores utilizados num DNC distribuem e recolhem os dados de um numero elevado de máquinas. Os computadores num CNC controlam apenas uma ou um numero reduzido de máquinas.
 - Os computadores num DNC estão localizados remotamente em relação às máquinas que controlam, enquanto nos CNC estão junto às máquinas.
 - O software de um DNC é desenvolvido, não só para controlar as máquinas, mas também para servir como parte do sistema de gestão da informação do sector de fabrico. O software de um CNC é desenvolvido para aumentar as capacidades de uma máquina.

Paulo Leitão, Tecnologias

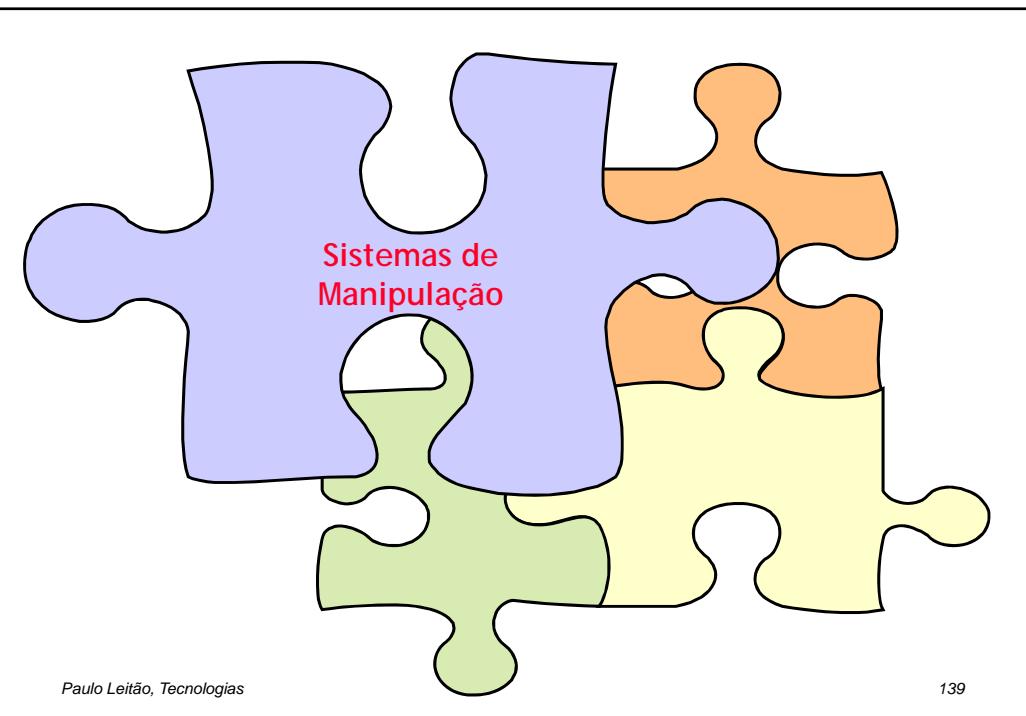
137

Características e Vantagens de um CNC

- Características
 - Armazenamento de vários programas de maquinagem
 - Uso de disquetes
 - Edição de programas localmente na máquina
 - Realização de interpolação
 - Facilidades de posicionamento para o setup
 - Compensação do comprimento da ferramenta
 - Realização de diagnósticos à máquina
 - Interface para comunicações
- Vantagens
 - Flexibilidade
 - Facilidade de integração

Paulo Leitão, Tecnologias

138



Paulo Leitão, Tecnologias

139

Definição

- Sistema integrado envolvendo actividades de manipulação, armazenamento e controlo de materiais.
- Por material entende-se matéria-prima, work-in-progress, produtos semi-acabados e produtos finais.
- O objectivo principal da utilização de um sistema de manipulação de materiais é assegurar que o material nas quantidades correctas é entregue ao cliente no tempo exacto das necessidades ao mínimo custo.

Paulo Leitão, Tecnologias

140

Princípios dos Sistemas de Manipulação (1)

- Orientação

- Identificação dos métodos e problemas existentes, restrições físicas e económicas, e estabelecer futuros requisitos e objectivos.

- Planeamento

- Plano que inclua os requisitos básicos e as opções desejáveis.

- Sistemas

- Integração das actividades de manipulação e armazenamento que são economicamente viáveis num sistema coordenado de operações que incluem a recepção, inspecção, armazenamento, produção, montagem, empacotamento, envio e transporte.

- Unit Load

- Manipulação do produto numa larga e prática unidade de carga.

- Utilização do espaço

- Efectiva utilização de todo o espaço cúbico.

Paulo Leitão, Tecnologias

141

Princípios dos Sistemas de Manipulação (2)

- Standardização

- Standardizar os métodos e equipamentos de manipulação sempre que possível.

- Ergonomia

- Reconhecer as capacidades e limitações humanas através da concepção de equipamento e procedimentos para uma efectiva interacção das pessoas que utilizam o sistema.

- Energia

- Estudo do consumo de energia.

- Ecologia

- Minimização dos efeitos adversos no ambiente quando seleccionados os equipamentos e procedimentos.

- Mecanização

- Mecanizar o processo de manipulação onde é viável o incremento da eficiência e economia.

Paulo Leitão, Tecnologias

142

Princípios dos Sistemas de Manipulação (3)

- Flexibilidade**

- Utilização de métodos e equipamentos que podem executar uma variedade de tarefas sob uma diversidade de condições de operação.

- Simplificação**

- Simplificar a manipulação através da eliminação, redução e combinação dos movimentos e/ou equipamentos desnecessários.

- Gravidade**

- Utilizar o efeito da gravidade para mover o material sempre que for possível, respeitando questões de segurança, danificação e perda do produto.

- Segurança**

- Providenciar equipamentos e métodos que cumpram as normas de segurança e regulamentos.

- Informatização**

- Considerar a informatização dos sistemas de manipulação quando as circunstâncias o permitam.

Paulo Leitão, Tecnologias

143

Princípios dos Sistemas de Manipulação (4)

- Fluxo do Sistema**

- Integrar o fluxo de dados com o fluxo físico de materiais.

- Layout**

- Preparar uma sequência operacional e uma configuração para o equipamento que melhor integra a eficiência com a eficácia.

- Custos**

- Comparar a justificação económica das soluções alternativas nos equipamentos e métodos através da despesa por unidade de item manipulado.

- Manutenção**

- Plano de manutenção preventiva e reparações escalonadas de todo o equipamento de manipulação.

- Obsoléncia**

- Política económica a longo prazo para substituir os equipamentos e métodos obsoletos.

Paulo Leitão, Tecnologias

144

Dispositivos de Manipulação de Materiais

AGV's

Tapetes automáticos



Armazéns Automáticos

Paulo Leitão, Tecnologias

145

Armazéns
Automáticos

Paulo Leitão, Tecnologias

146

Definição

- Um armazém automático (Automated Storage/Retrieval Storage) é um lugar de armazenamento temporário de produtos, onde os movimentos são efectuados por equipamentos automáticos, sem nenhuma intervenção humana.
- Tipos de materiais armazenados
 - Matéria-prima (material em bruto)
 - Produtos intermédios e produtos acabados
 - Produtos adquiridos ao exterior (Outsourcing)
 - Ferramentas
 - Peças para recuperação e desperdícios
 - Material de escritório

Paulo Leitão, Tecnologias

147

Exemplos de Aplicação (1)



Paulo Leitão, Tecnologias

148

Exemplos de Aplicação (2)



Paulo Leitão, Tecnologias

149

Objectivos

- Espaço Ocupado
 - Aumento da capacidade de armazenamento através do crescimento em altura e da exiguidade dos corredores.
- Aumento da Produtividade
 - Optimização permanente dos espaços e volumes de armazenamento (economias de iluminação e aquecimento, etc..).
 - Ausência de erros de colocação e redução das pessoas afectas à exploração.
- Continuidade e Integração na Cadeia Logística
 - Ausência de rupturas entre fluxos e gestão em tempo real.
- Segurança de Funcionamento
 - Em ambientes difíceis (entrepostos frigoríficos, manipulação de produtos químicos, etc.).
- Controlo dos inventários
 - Melhoria na gestão de stocks e controlo permanente do inventário.

Paulo Leitão, Tecnologias

150

Domínios de Aplicação

- Distribuição
 - Entrepastos, armazéns grossistas, etc..
- Industria
 - Matérias-Primas, produtos acabados, etc..
 - Armazenamento do work-in-process.
- Manutenção
 - Sobressalentes e peças de reserva.
- Serviços
 - Arquivos, bibliotecas, depósitos de valores, etc..

Paulo Leitão, Tecnologias

151

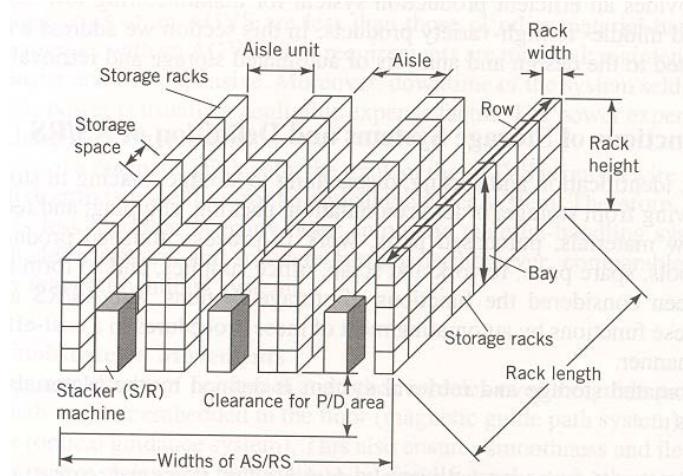
Armazenamento do Work-in-Process

- Riscos de um WIP elevado
 - Falta de controlo sobre o inventário.
 - Tempo gasto na procura de peças.
 - Perda de peças e perda de ordens completas.
 - Processamento das ordens desrespeitando as prioridades.
 - Peças passando mais tempo que o necessário na oficina.
- Razões para o armazenamento do WIP
 - Buffers de armazenamento (por exemplo, de conjuntos para montagem).
 - Armazenamento de componentes num sistema de montagem progressivo (tipo carrossel).
 - Suporte para produção “Just in time”.
 - Compatibilidade com sistemas de identificação automática.
 - Maior controlo e seguimento dos materiais.
 - Suporte para a automação e integração ao nível da fábrica.

Paulo Leitão, Tecnologias

152

Armazém Automático Típico



Paulo Leitão, Tecnologias

153

Nomenclatura (1)

- Espaço de Armazenamento
 - Espaço tridimensional normalmente necessário para armazenamento de unidades simples de material.
- Pilhas
 - Pilha vertical de localizações de armazenamento desde o chão até ao tecto.
- Fileira
 - Série de pilhas dispostas lado a lado.
- Corredor
 - Espaço compreendido entre duas fileiras.
- Racks de Armazenamento
 - Entidade estrutural compreendendo as localizações, pilhas e fileiras.

Paulo Leitão, Tecnologias

154

Nomenclatura (2)

- Estrutura de Armazenamento

- Utilizado para o armazenamento de inventário e compreende os racks de armazenamento. Normalmente é concebido numa estrutura em aço.

- Transtocador

- Entidade que transportam os materiais dentro do armazém, podendo ter movimento verticais e horizontais.

- Módulos de Armazenamento

- Utilizados para transportar os materiais, como sejam paletes, cestas, bandejas, contentores plásticos ou metálicos, gavetas ou elementos específicos.

- Estações de Carga e Descarga

- Entidade que realizam a interface com o exterior do armazém. Normalmente, estão localizadas no fim dos corredores.

Paulo Leitão, Tecnologias

155

Categorias de AS/RS

- Unit Load

- Sistema automatizado de grande porte concebido para cargas armazenadas em paletes ou outros recipientes normalizados.

- Miniload

- Usado para manipular pequenas cargas armazenadas em conjuntos dentro de caixas. As caixas são transferidas dos compartimentos para a estação de descarga, onde são armazenados/retirados os itens pretendidos, sendo em seguida retornadas ao compartimento de origem.

- Man-on-board

- Abordagem alternativa ao sistema de minicarga em que os itens são retirados/colocados individualmente nas caixas no próprio compartimento. Reduz o tempo de transacção do sistema.

- Deep-lane

- Armazenamento de alta densidade, apropriada ao armazenamento de material de dimensões reduzidas em grandes quantidades. Os materiais são armazenados em grupos em cada compartimento, entrando por um lado e saindo por outro (flow-through).

Paulo Leitão, Tecnologias

156

Controlo do AS/RS

- Objectivo

- Dado um determinado compartimento para ir, os transportadores e os chariots-transfer são controlados para localizar e posicionar-se no compartimento pretendido, com uma tolerância aceitável, para depositar ou retirar um item.

- Identificação do Compartimento

- Cada compartimento é identificado por um código alfanumérico, que indica o corredor, posição horizontal e posição vertical na estrutura.
- As localizações dos itens no sistema estão armazenadas numa base de dados, que é actualizada sempre que uma transacção é realizada.

- Métodos de Posicionamento

- Contagem (horizontal e vertical).
- Identificadores ópticos.

Paulo Leitão, Tecnologias

157

Métodos de Transferência de Carga

- Manual

- Tapetes rolantes → estações de trabalho.
- Em AS/RS: agrupamento de peças em conjuntos para formar uma unidade de carga.
- Carga/descarga de paletes em AGV's.

- Automática

- Sistemas push-pull cargas planas: movimentadores de rolos, cintos, tapete e veículos guiados com plataformas com rolos. Estes mecanismos estão instalados nas estações de transferência.
- Transportadores de rolos e plataformas sobe/desce - transferência de e para AGV's.

Paulo Leitão, Tecnologias

158

Precisão Posicional

- A precisão com que o sistema de manipulação deve ser posicionado na estação de transferência depende do tipo de interface:

Tipo de Interface	Tolerância
• Carga/descarga manual	± 5 cm
• AGV - Tapete	± 2 cm
• Carga/descarga em AS/RS	$\pm 0,5$ cm
• Interface com máquina-ferramenta	$\pm 0,02$ cm

Paulo Leitão, Tecnologias

159

Sistemas de Armazenamento do tipo Carrossel

- Série de recipientes acoplados a transportadores ligados em conjunto, que se move numa trajectória oval, accionado por um sistema de tracção.
- Características
 - Perímetro da oval: de 3 a 300 metros
 - Altura: de 1,5 a 2,5 metros
 - Montagem no tecto ou no chão.
 - Controlo por pedal, manual, por teclado ou por computador.
- Aplicações
 - Armazenamento e retirada, transporte e acumulação e aplicações especiais.

Paulo Leitão, Tecnologias

160

Interface entre Manipulação/Armazenamento

- Interface da Informação

- Fluxo de informação que acompanha o movimento e o armazenamento de materiais na fábrica, relacionado com:
 - Identificação e seguimento dos materiais.
 - Controlo de inventários.
 - Escalonamento da produção.
 - Comunicação de dados.

- Interface mecânica

- Transferência de peças e cargas entre sistemas de armazenamento, sistemas de manipulação de materiais e sistema de produção. A sua concepção depende de:
 - Tipo de equipamento de manipulação usado.
 - Sistema com o qual é feita a interface.
 - Carga/descarga manual ou automática.

Paulo Leitão, Tecnologias

161

Critérios de Desempenho do Sistema de Armazenamento

- Capacidade de armazenamento

- Número máximo de cargas individuais previsto para armazenamento.

- Throughput

- Número máximo de cargas por unidade de tempo que o sistema pode receber/armazenar e retirar/entregar.

- Utilização

- Percentagem de tempo que o sistema está em uso comparado com o tempo em que está disponível.

- Uptime Reliability

- Disponibilidade.

Paulo Leitão, Tecnologias

162

Concepção de um Armazém Automático

- Determinação dos tamanhos das cargas.
- Determinação das dimensões do espaço individual de armazenamento.
- Determinação do numero de espaços de armazenamento.
- Determinação do *throughput* do sistema e o numero de *transstocadores*.
- Determinação das dimensões dos parâmetros do sistema de armazenamento, como sejam o numero de fileiras, pilhas, largura e comprimento, etc..
- Determinação da utilização dos *transstocadores*.

Paulo Leitão, Tecnologias

163

Dimensões do Espaço Individual de Armazenamento

- H altura da unidade de carga
- l comprimento da unidade de carga
- w largura da unidade de carga
- C1 folga na altura para a unidade de carga
- C2 folga no comprimento para a unidade de carga
- C3 folga na largura para a unidade de carga
- u profundidade de armazenamento (normalmente 3 uni.)

$$\text{Altura do espaço individual} = h + C1$$

$$\text{Comprimento do espaço individual} = l + C2$$

$$\text{Largura do espaço individual} = u (w + C3)$$

Paulo Leitão, Tecnologias

164

Exercício 1

Problema:

Determine as dimensões do espaço de armazenamento, sabendo que as dimensões das unidades de carga são de 145 (largura) x 132 (comprimento) x 132 (altura).

As tolerâncias são $C1 = 25$ cm, $C2 = 20$ cm, $C3 = 15$ cm e $u = 3$.

Solução:

$$\text{Altura do espaço} = h + C1 = 132 + 25 = 157 \text{ cm}$$

$$\text{Comprimento do espaço} = l + C2 = 132 + 20 = 152 \text{ cm}$$

$$\text{Largura do espaço} = u (w+ C3) = 3 \times (145 + 15) = 480 \text{ cm}$$

Número de Espaços de Armazenamento

• Política de armazenamento dedicado

- Um conjunto de blocos de armazenamento é reservado para um produto específico.
- Número de espaços = Soma do máximo nível de inventário para todos os produtos.

• Política de armazenamento aleatório

- Qualquer espaço vazio pode ser seleccionado para armazenar um produto.
- Número de espaços = Máximo nível de inventário agregado para todos os produtos.

Exercício 2

Problema:

Um armazém recebe quatro produtos, de acordo com a tabela que se segue.
Determine o nº de espaços de armazenamento necessários.

Período	Produtos				Inventário Agregado
	A	B	C	D	
1	1000	1500	500	2000	5000
2	2500	700	800	500	4500
3	2500	3000	200	1300	6000
4	500	1000	3500	4000	9000
5	1100	900	200	300	2500

Solução

- a) Soma do máximo inventário individual

$$2500+3000+3500+4000 = 13000 \text{ paletes}$$

- b) Máximo inventário agregado

$$9000 \text{ paletes}$$

Throughput do Sistema e Nº de Transtocadores

- Factores que influenciam o throughput:
 - Velocidade dos transtocadores.
 - Percentagem de utilização dos racks de armazenamento.
 - Organização dos itens armazenados.
 - Velocidade do sistema de controlo do armazém.
 - Velocidade e eficiência do equipamento de manipulação.
- Número de Transtocadores

$$\text{Nº de transtocadores} = \frac{\text{throughput do sistema}}{\text{capacidade do transtocador (ciclos/hora)}}$$

Exercício 3

Problema:

Considere um sistema em que o tempo de ciclo médio por operação é de 1 minuto. O throughput desejado é de 360 operações por hora. Calcule o número de transtocadores.

(Uma operação consiste na recepção e entrega do material a armazenar).

Solução:

Nº de ciclos por hora e por máquina = 60 (notar que o tempo de ciclo é de 1 min).

$$Nº\ de\ transtocadores = \frac{360}{60} = 6$$

Parâmetros de Armazenamento (1)

- Consideremos o caso normal, em que os transtocadores são dedicados a um corredor.

$$Nº\ de\ fileiras = 2 \times nº\ de\ transtocad\ ores$$

$$Nº\ de\ pilhas = \frac{nº\ de\ espaços\ desejado}{fileiras\ por\ transtocador\ x\ transtocadores\ x\ espaços\ por\ altura}$$

$$Nº\ de\ espaços\ por\ altura = \frac{altura\ desejada\ do\ sistema}{altura\ do\ espaço\ de\ armazename\ nto}$$

Exercício 4

Problema:

Utilizando a informação dos exercícios anteriores, calcule o nº de fileiras e o nº de pilhas em cada linha. Considere que a altura desejada é de 15,7 metros.

Solução:

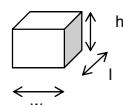
$$Nº\ de\ fileiras = 2 \times 6 = 12$$

$$Nº\ de\ espaços\ por\ altura = \frac{15,7}{1,57} = 10$$

$$Nº\ de\ pilhas = \frac{9000}{2 \times 6 \times 10} = 75$$

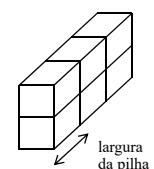
Parâmetros de Armazenamento (2)

$$\text{largura das pilhas} = l + c_2 + c_4$$



$$\text{comprimento do rack} = \text{largura da pilha} \times \text{nº de pilhas}$$

$$\text{comprimento do sistema} = \text{comprimento rack} + C_5 + C_6$$



$$\text{profundida de da pilha} = u(w + c_3) + c_7$$

$$\text{largura sist.} = [\text{largura corredor} + (2 \times \text{prof. pilha})] \times \text{nº corredores}$$

Exercício 5

Problema:

Determine os seguintes parâmetros do armazém, utilizando os dados dos exercícios anteriores: largura da pilha, comprimento do rack, comprimento do sistema e largura do sistema. Considere que $C_4 = 15$ cm, $C_5 = 25$ cm, $C_6 = 38$ cm, $C_7 = 15$ cm e a largura do corredor é de 180 cm.

Solução:

$$\text{largura das pilhas} = l + c_2 + c_4 = 132 + 20 + 15 = 167 \text{ cm}$$

$$\text{comprimento do rack} = 167 \times 75 = 12,53 \text{ metros}$$

$$\text{comprimento do sistema} = 12525 + 25 + 38 = 12,6 \text{ metros}$$

$$\text{profundidade da pilha} = u(w + c_3) + c_7 = 480 + 15 = 495 \text{ cm}$$

$$\text{largura sist.} = [180 + (2 \times 495)] \times 6 = 7,02 \text{ metros}$$



Sistemas de
Transporte
Automático

Sistemas AGV (Automated Guided Vehicle)

- Veiculo alimentado a baterias com capacidades de programação para movimentação, selecção de trajectórias e posicionamento.
- Um AGV é um sistema de manipulação de materiais altamente flexível, inteligente e versátil.
- Cada veiculo possui um microprocessador, que é utilizado para guiar o veiculo ao longo de um caminho pré-definido e para corrigir a sua trajectória caso o veiculo se esteja a desviar do desse caminho.
- Um sistema de controlo recebe instruções directamente do computador central, comunica com outros veículos e transfere os comandos apropriados para cada veiculo.

Paulo Leitão, Tecnologias

175

Características Básicas dos AGVs

- Um AGV é capaz de percorrer um caminho pré-definido num único sentido ou em ambos os sentidos (o que implica a necessidade de maior poder de computação para gerir os bloqueios de tráfego).
- Tem capacidade de realizar automaticamente a carga e descarga de materiais quer em unidades de interface quer directamente em estações de trabalho.
- Possibilidade de viajar entre vários edifícios da mesma planta (abrindo e fechando portas automaticamente) ou entre pisos utilizando elevadores.
- Pode igualmente ser modificado, adaptado, e re-concebido, de forma a operar em ambientes e condições hostis.

Paulo Leitão, Tecnologias

176

Componentes de um AGV

- Veículo
 - Utilizado para mover o material ou módulos de suporte dentro do sistema de fabrico sem intervenção humana.

- Caminho
 - Trajectória que o veículo segue na sua movimentação ao longo do caminho desejado.

- Unidade de Controlo
 - Monitoriza e controla as operações do sistema, incluindo a recepção de informação sobre a movimentação, inventário e estado do veículo.

- Interface
 - Realiza a interface com outros computadores e sistemas, tais como computador central, AS/RS e FMS.

Paulo Leitão, Tecnologias

177

Vantagens e Aplicações dos AGV's

- Vantagens
 - Flexibilidade
 - Elevada confiabilidade de operação
 - Fácil interface com outros sistemas
 - Minimização dos custos de operação e baixo investimento.

- Aplicações
 - No armazenamento de matérias primas
 - No armazenamento de produtos finais
 - Em operações de montagem
 - Em operações de fabrico
 - Sistemas de fabrico flexível

Paulo Leitão, Tecnologias

178

Exemplos de AGV's



Paulo Leitão, Tecnologias

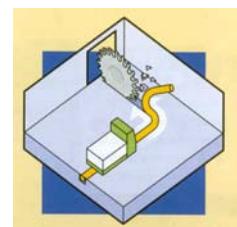


179

Localização em AGVs (1)

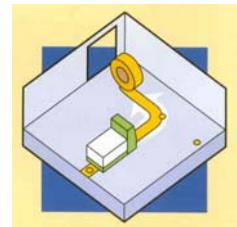
Inductive Loops

- Fixed floor system (inductive loop is cut into the floor).
- Simple and old technology, but well-proven technology
- Very good positioning.
- Unsuitable system for expansion or modification of transport routes/positions.
- Suitable for both indoor and outdoor applications.



Magnetic/Metallic Loop

- Fixed floor system.
- Functions as an inductive loop, but is tapped/attached to the floor. Rapid installation.
- Relatively simple to modify and build out. Suitable for small or temporary installations.
- The system requires an indoor climate and is very sensitive to mechanical injury.
- Can be influenced by metals in the vicinity of the loop.



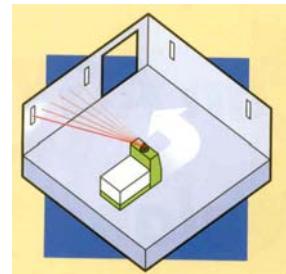
Paulo Leitão, Tecnologias

180

Localização em AGVs (2)

Laser

- Non fixed floor system.
- Positioning by means of co-ordinates.
- The laser beam is reflected by strategically placed reflectors. The system is easy to put into operation, and easy to expand.
- Laser navigation offers the best flexibility.
- Complex systems can be made very operationally reliable. Positioning down to $\pm 2\text{mm}$.
- For all environments, including clean room environments. Suitable for both indoor and outdoor applications.
- Not dependent on weather conditions (rain, snow, etc.).



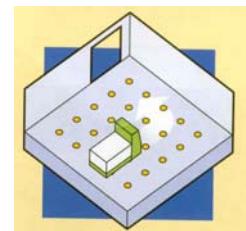
Paulo Leitão, Tecnologias

181

Localização em AGVs (3)

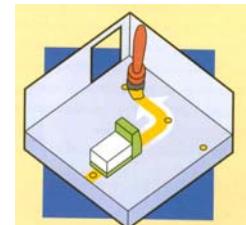
Co-ordinate system

- Fixed floor system.
- The operating area is divided up into coordinated, either by programmable position plates in an optical pattern of squares.
- The system ensures satisfactory navigation reliability.
- Complex floor installation, but easy to re-program in the operating area.
- To increase the distance between the reference points gyro technique is used.



Optical

- Fixed floor system.
- The vehicle follows the painted/taped line by means of a CCD camera.
- The line is easy to paint on the floor.
- The system requires an indoor climate and is very sensitive to dirty surroundings and has therefore low operational reliability.



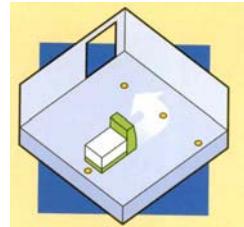
Paulo Leitão, Tecnologias

182

Localização em AGVs (4)

Gyro

- Fixed floor system.
- Gyro requires some form of external calibration. Usually this is solved with reference points in the floor.
- References are also needed at pick-up stations and at approaches to curves.
- For more extensive layouts the laying of reference points in the floor is complicated.
- Depending on the accuracy of the gyro, calibration of the position is demanded in different intervals.
- Gyro ensures good positioning.



Ultra-sound

- Navigates in relation to vertical surfaces such as walls.
- Can navigate around temporary obstacles.
- Used in narrow surroundings, e.g. aisles.



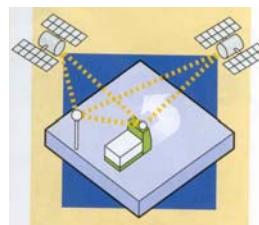
Paulo Leitão, Tecnologias

183

Localização em AGVs (5)

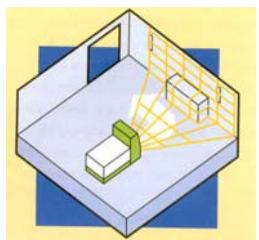
GPS

- A non fixed floor system.
- GPS technology will in all probability be developed and refined.
- Today GPS is only suitable for outdoor navigation.
- No acceptable precision for materials handling.
- Buildings or other structures cause interference.
- Depends on good fix to satellites.



Vision

- A technology which has great potential, but which is still under development.
- Vision technology in combination with laser navigation opens unimaginable possibilities for automation.
- Positioning, identification, memorizing, intelligence in multiple-choice situations, navigational reliability (elimination of collision risk), etc.

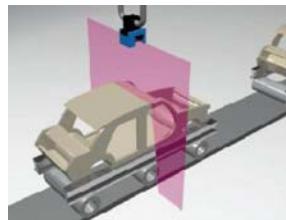
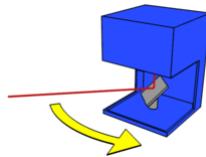


Paulo Leitão, Tecnologias

184

Proximidade - Laser Scanner

- Scan the surroundings and measure distances
- Use the TOF principle for an optical signal
- Integrated rotating mirror creates a 2-D scan for the environment



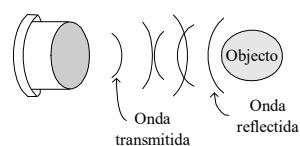
Paulo Leitão, Tecnologias

185

Distância - Método do tempo de viagem

- Determinação da distância com base no tempo decorrido entre a transmissão e retorno de um determinado sinal.
- A distância é determinado por:

$$D = \frac{c \times T}{2}$$



em que:

- c é a velocidade da onda de energia, i.e. do sinal.
- T é o tempo de transmissão do sinal.

- Ondas de energia possíveis:
 - Sinal óptico (laser) : c = velocidade da luz = 0,3 m/ns
 - Sinal acústico (ultra-sons): c = velocidade do ar = 0,3 m/ms

Paulo Leitão, Tecnologias

186

Selecção de Rotas

- Selecção de Frequência

- No ponto de decisão, o AGV lê o chip colocado no chão, que possui várias frequências para permitir ao veículo o deslocamento em várias direcções. O AGV selecciona a frequência para a direcção pretendida.

- Selecção através de comutação de trajecto

- O caminho é dividido em segmentos que são comutados, utilizando apenas uma frequência. Nos pontos de decisão os controlos são comutados dependendo no caminho que se pretende seguir.

Sistemas de Controlo

- Sistema Controlado por Computador

- Todas as transações e movimentos são controlados e monitorizados pelo sistema de controlo. Este sistema de controlo é o mais eficiente mas também o mais caro e complexo.

- Sistema Controlado por Despacho Remoto

- Um operador humano define as instruções para o AGV através de uma estação remota de controlo.

- Sistema Controlado Manualmente

- Neste tipo de sistema, o operador humano carrega o AGV e indica o destino da trajectória. Após atingir o destino, o veículo pára e espera que o operador descarregue o material.

Interface com outros Sistemas

- Necessidade de comunicação e interacção com outros sistemas:
 - Armazéns automáticos
 - Máquinas de controlo numérico
 - Equipamento de controlo de processo
 - Sistemas flexíveis de fabrico
 - Sistema de controlo da planta fabril
- A interface poderá ser realizada através de um computador central ou de um sistema distribuído de processamento de dados.



Paulo Leitão, Tecnologias

189

Concepção de sistemas AGV's

- Selecção dos tipos de caminhos e tipos de veículos.
- Concepção do fluxo de caminho.
- Layout dos caminhos.
- Tipo de fluxo de caminho dentro do layout (unidirecional, bidireccional ou combinado).
- Número e localizações dos pontos de transferência de carga e espaços de armazenamento.
- Número de veículos.

Paulo Leitão, Tecnologias

190

Método de Cálculo do N° de AGV´s

- Dd Média da distância dos percursos carregados
- De Média da distância dos percursos vazios
- Ndr N° das entregas previstas por hora
- Th Tempo de carga e descarga
- Tf Factor de tráfego, que indica o nível de congestão (veículos à espera nos pontos de intersecção das trajectórias). Se só existe um veículo, este parâmetro vale 1.
- v Velocidade do veículo

Tempo total por entrega e por veículo, T_{dv}

$$T_{dv} = \frac{D_d}{v} + T_h + \frac{D_e}{v}$$

Cálculo do N° de AGV´s (2)

Número de entregas por veículo por hora, $N_d = \frac{60 \times T_f}{T_{dv}}$

Número de AGV's necessários, $N_{agv} = \frac{N_{dr}}{N_d}$

Exercício 1:

Estimar o número de AGV's necessário para satisfazer as necessidades do sistema de produção, sabendo que deve ser capaz de realizar 51 entregas por hora e a seguinte informação: $D_d = 162$ m, $D_e = 108$ m, $T_h = 1$ min, $T_f = 0,85$, $v = 54$ m/min.

$$T_{dv} = \frac{162}{54} + 1 + \frac{108}{54} = 6 \quad ; \quad N_d = \frac{60 \times 0,85}{6} = 8,5 \quad ; \quad N_{agv} = \frac{51}{8,5} = 6$$

Exercício 2

- Um sistema automatizado de produção de motores para a indústria automóvel, possui cinco estações (A a E) e uma estação de armazenamento (F). O tempo estimado de movimentação entre as estações está ilustrado na tabela que se segue.

	A	B	C	D	E	F
A	-	1,5				
B	1,5	-	2,5			
C		2,5	-	1,0		
D			1,0	-	0,5	
E				0,5	-	1,0
F					1,0	-

- Em cada turno de 8 horas, são produzidos 100 motores, numa sequência da estação A até à E. O tempo médio de carga e de descarga é de 0,5 min, o factor de carga é de 0,65 e o factor de tráfego de 0,95. Determine o nº de AGV's.

Solução

Não conhecemos o tempo dos percursos vazios, mas conhecemos o factor de carga.

$$\text{Tempo total movimentação de 1 motor} = 0,5 + 1,5 + 2,5 + 1 + 0,5 + 1 = 7 \text{ min}$$

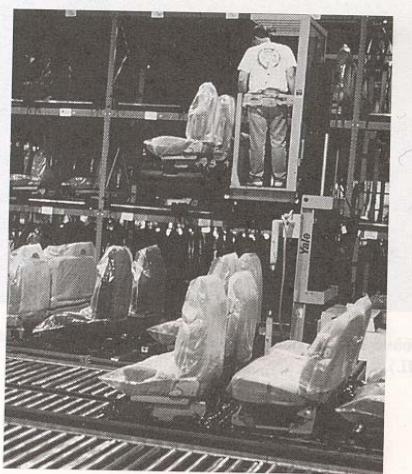
$$\text{Tempo total de carga e descarga} = 6 \times 0,5 = 3 \text{ min}$$

$$\text{Tempo total em transito} = 7 + 3 = 10 \text{ min}$$

$$\text{Tempo total percurso para 1 motor} = \frac{10}{T_f \times F_{load}} = 16,19 \text{ min}$$

$$N_{agv} = \frac{N^{\circ} \text{ motores} \times \text{tempo total por motor}}{\text{Tempo disponível}} = \frac{100 \times 16,19}{480} = 3,37$$

Tapetes Automáticos



Paulo Leitão, Tecnologias

195