

# Problemas Computacionais no Controlo de Robots Parte 1

## 1. Uma Breve Perspectiva Económica da Robótica Industrial

Desde a sua introdução, nos finais da década de sessenta, a robótica industrial protagonizou uma evolução assinalável devido à redução dos preços (reais) e à melhoria do seu desempenho. A robótica encontra-se hoje largamente difundida no tecido industrial de numerosos países e em muitos outros encontra-se em vias de ser introduzida. Os robots tornaram-se um símbolo da automação industrial na sua forma mais avançada. Assim, os robots, em conjunto com as máquinas-ferramenta de controlo numérico, os veículos móveis autónomos e os sistemas informáticos de supervisão e controlo, tornaram-se as peças fundamentais para o desenvolvimento dos sistemas de manufactura integrados por computador.

O total acumulado de vendas de robots desde o início dos anos setenta monta a cerca de 790 000 unidades em fins de 1995, das quais 650 000 são estimadas estarem em serviço. Nas estatísticas das Nações Unidas [1], publicadas em 1996, são de apontar alguns números relevantes. De facto, em fins de 1995 o mercado mundial de robots caracterizou-se por um aumento face ao ano anterior de:

- 75 500 unidades (+26%)
- 5,7 biliões \$US (+33%)
- Um aumento nos países mais industrializados: Japão, 2,5 biliões \$US (+36%), EUA, \$900 milhões \$US (+30%), Alemanha, Itália, França e Reino Unido, 1 bilião \$US (+36%),
- Um preço médio unitário de 82 000 \$US comparado com 108 000 \$US em 1991.

A Fig. 1 mostra, para vários países, as estatísticas relativas ao número de robots operacionais por cada 10 000 trabalhadores na indústria. Por outro lado, a Fig. 2 apresenta as estimativas de evolução do mercado anual de robots no futuro próximo. Consta-se que o total de robots industriais continuará a aumentar enquanto que o número de trabalhadores neste sector se manterá estável ou, quando muito, conhecerá somente um pequeno aumento.

Estatísticas ainda mais recentes [2], referem que as vendas de robots nos EUA no primeiro trimestre de 1997 atingi-

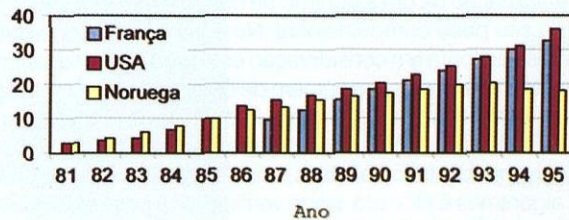
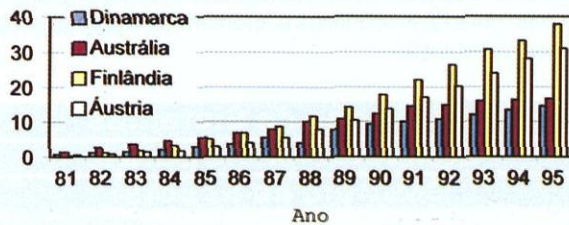
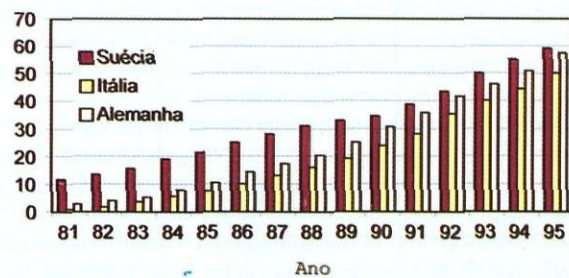
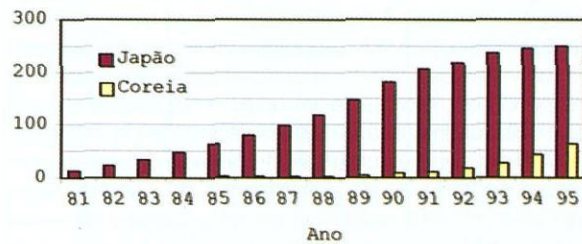


Figura 1 - Número de robots por 10.000 trabalhadores na indústria.

ram um máximo de 3630 unidades no valor de 300,4 milhões \$US. Estes valores correspondem a aumentos de 43% do número de unidades e de 21% no investimento relativamente ao primeiro trimestre de 1996.

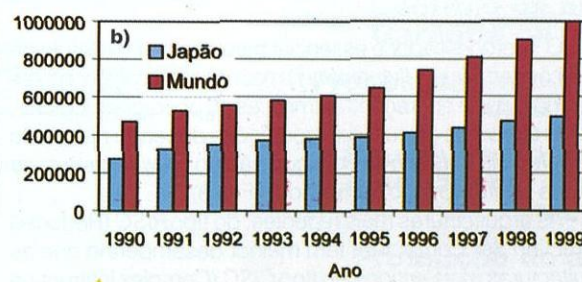
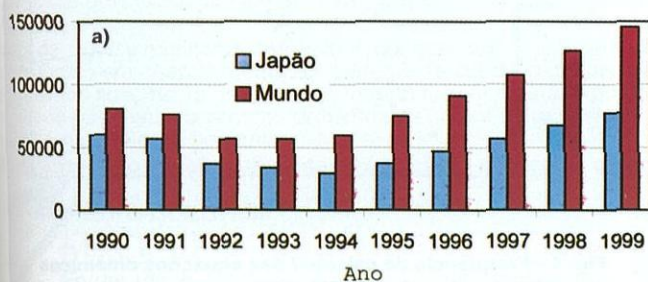


Fig. 2 a) Número de robots vendidos por ano b) Número estimado de robots industriais em serviço

## 2. Aspectos Computacionais do Controlo de Robots

Os manipuladores robóticos são estruturas mecânicas constituídas por vários elos interligados por eixos rotacionais ou lineares. Estes sistemas exibem fenómenos cinemáticos e dinâmicos complexos pelo que o seu controlo faz apelo à adopção de algoritmos sofisticados. Os robots industriais usam controladores *PID* lineares que, devido às razões apontadas, revelam um desempenho limitado. Tendo em vista melhorar a resposta dinâmica do sistema, têm sido propostos controladores adaptativos e não-lineares. Todavia, a complexidade dos algoritmos correspondentes, representa uma carga computacional elevada que limita fortemente a frequência de amostragem atingida.

Como é conhecido, uma baixa frequência de amostragem implica a degradação do desempenho do sistema. Deste modo, para um dado algoritmo, ocorre a questão de avaliar as capacidades computacionais necessárias à sua concretização. Os estudos efectuados têm dedicado pouca atenção a este problema e somente alguns dão informação relativa ao número de cálculos necessários ou à frequência de amostragem verificado num computador específico.

Neste artigo analisa-se o poder de cálculo de vários sistemas informáticos e avalia-se o peso computacional representado por diferentes operações aritméticas e lógicas. De seguida abordam-se diversas técnicas com vista a possibilitar um cálculo mais rápido e, conseqüentemente, a permitir maiores frequências de amostragem. Por último, traçam-se as principais conclusões para referência no estudo de controladores para manipuladores robóticos e apontam-se algumas perspectivas de evolução.

## 3. Avaliação de Sistemas Computacionais para o Controlo de Robots

A aplicação de um algoritmo de controlo requer a estimativa do seu peso computacional. No entanto, a maioria dos estudos não toma em consideração este problema e, quando muito, limita-se a indicar o número de operações matemáticas utilizadas no algoritmo ou, então, a frequência de amostragem obtida num determinado computador. Assim, em situações tais como no controlo de robots, onde a carga computacional dos algoritmos é elevada, pode verificar-se a posteriori que o computador tem um poder de cálculo insuficiente [3].

Nesta secção avalia-se a carga computacional colocada por diferentes tipos de operações matemáticas tendo em vista a sua utilização em algoritmos de controlo de manipuladores robóticos. Além disso, são também considerados sistemas informáticos constituídos por vários tipos de sistemas operativos, processador e coprocessador e linguagens de programação [4]. Os dados revelam que:

- As operações trigonométricas são as mais lentas enquanto que as operações aritméticas inteiras (*int*) e as avaliações lógicas são as mais rápidas.
- O coprocessador é essencial para acelerar o cálculo de operações em vírgula flutuante (*vf*) mas não tem qualquer influência no cálculo de operações aritméticas ou operações lógicas.
- O tempo de cálculo das operações depende não só do hardware mas também da configuração do software, isto é, do sistema operativo e do compilador (Fig. 3).
- As arquitecturas mais recentes, do tipo *RISC* (Reduced Instruction Set Computer), têm melhor desempenho que as arquitecturas mais antigas do tipo *CISC* (Complex Instruction Set Computer).

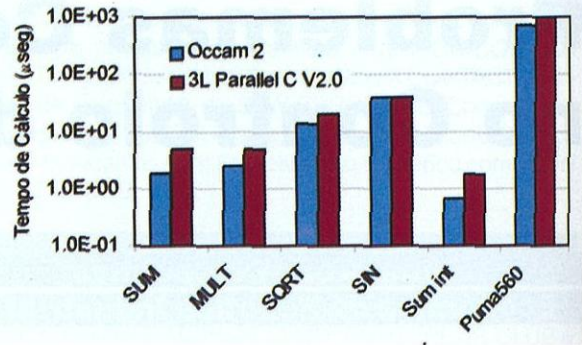


Fig. 3 – Tempos de cálculo de várias operações em *vf* no Transputer IMS T800@20 MHz para dois compiladores distintos: Occam 2 e 3L Parallel C V2.0.

Para uma melhor avaliação dos problemas em jogo, testou-se cada um dos sistemas para uma *benchmark* representativa dos algoritmos de controlo de robots. Neste sentido, considerou-se como *benchmark* o cálculo das equações simplificadas da dinâmica de um robot PUMA [5]. Estas equações, após algumas simplificações [4] requerem o cálculo de 11 senos/cosenos, 89 somas e 150 multiplicações em *vf*.

A Fig. 4 mostra os resultados obtidos para os sistemas da Tabela 1. O eixo das ordenadas indica a frequência de cálculo conseguido para cada sistema e o eixo das abcissas mede o índice  $m = f / f_{clock}$  onde  $f_{clock}$  é a frequência do relógio. Assim,  $f$  é um índice que mostra a frequência de cálculo realmente atingida para cada sistema e  $m$  é um índice "normalizado" que permite comparar a eficiência da arquitectura dos diversos sistemas (*hardware* e *software*) independentemente da evolução tecnológica que incida sobre  $f_{clock}$ .

Os resultados da *benchmark* mostram uma certa correlação entre os ganhos conseguidos segundo os dois eixos. Consta-se que o ganho derivado dos progressos na arquitectura dos sistemas acompanha, e por vezes ultrapassa, o ganho conseguido a nível tecnológico pela aceleração de  $f_{clock}$ . Por outro lado, a ordem de grandeza dos resultados revela que a adopção de algoritmos sofisticados de controlo, inviável em termos económicos até recentemente, promete ser uma realidade nas próximas gerações de sistemas robóticos. No entanto, a utilização simultânea, e em tempo real, de vários algoritmos tais como o planeamento automático de trajectórias, a cinemática, a dinâmica e o controlo, a elevadas frequências de amostragem, pode ainda apresentar problemas.

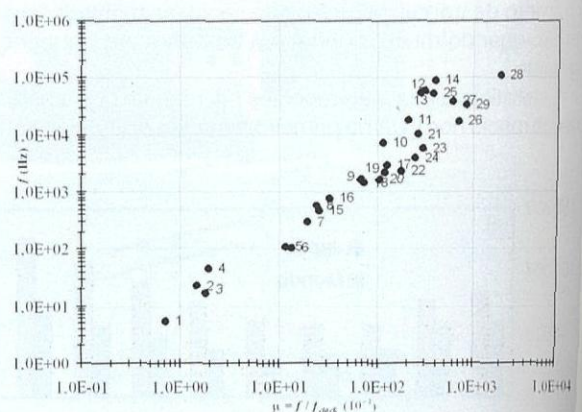


Fig. 4 – Frequência de cálculo  $f$  das equações dinâmicas simplificadas do robot PUMA 560 versus  $m = f / f_{clock}$  para vários computadores (precisão em *vf*: 8 bytes).

Sistema	Computador	Microprocessador/ /Coprocessador	f <sub>clock</sub> (MHz)	Sistema Operativo	Linguagem
1	IBM PS/2	8086	8	MSDOS 3.3	TC V2.0
2	IBM PS/2	80386 SX	16	MSDOS 3.3	TC V2.0
3	IBM PS/2	80286	10	MSDOS 3.3	TC V2.0
4	IBM PS/2	80386	25	MSDOS 3.3	TC V2.0
5	IBM PS/2	80286/80287	10	MSDOS 3.3	TC V2.0
6	IBM PS/2	8086/8087	8	MSDOS 3.3	TC V2.0
7	IBM PS/2	80386 SX/80387 SX	16	MSDOS 3.3	TC V2.0
8	IBM PS/2	80386/80387	25	MSDOS 3.3	TC V2.0
9	IBM PS/2	80486	25	MSDOS 3.3	TC V2.0
10	PC	40486DX2	66	Windows95	TC V2.0
11	PC	Pentium	90	Windows95	TC V2.0
12	PC	Pentium	200	Windows95	TC V2.0
13	PC	PentiumPro	200	WindowsNT 4.0	TC V2.0
14	PC	PentiumII	233	WindowsNT 4.0	TC V2.0
15	SUN 3	68020/68881	20	UNIX 4.2	GNU C V1.25
16	Apollo DN3500	68030/68882	25	BSD 4.2 Do/IX	System C
17	NEXT CUBE	68040	25	Nextstep 2.1 Mach 2.5	GNU C V1.36
18		IMS T800 (8 bytes)	20		Occam 2
19		IMS T800 (4 bytes)	20		Occam 2
20	AViON AVX 300	88100	16,7	DG/UX 4.2	System C
21	AViON AV 5500	88100	40	DG/UX 5.4R2.10	GNU C 2.3.3.7
22	SUN 4	SPARC	14,3	UNIX 4.3.2	System C
23	SUN 4, SPARCSt.1	SPARC	20	SUN 4.0.3	System C
24	DecStation 3100	MIPS 2000/2010	16,7	Ultrix 3.1	System C
25	Dec3000 500SAXP	Dec21064 RISC Alpha AXP	150	OSF/1 V1.3 111 alpha	GCC 2.4.5
26	IBM 6000 St.530	IBM Power Syst/6000	25	AIX/6000 V3.1	System C
27	IBM 6000/250	Power PC 601	66	AIX/6000 V3.2.5	XL C V1.3.0.0
28	IBM 6000/580H	IBM Power 2 Syst/6000	55	AIX/6000 V3.2.5	XL C V1.3.0.0
29	IBM 6000/950	IBM Power Syst/6000	41,6	AIX/6000 V3.2.5	XL C V1.3.0.0

Tabela 1 - Sistemas testados com as equações dinâmicas do robot PUMA 560



# Alta tecnologia pura

20 a 24 de Outubro de 1998  
Hannover • Alemanha

## 15ª Feira Internacional da Tecnologia para Trabalhar Chapas Metálicas

Estar a par dos desenvolvimentos da indústria de trabalho em chapas metálicas de hoje significa estar bem informado. A **Euro-BLECH 98** é a mostra da indústria, onde os processos tecnológicos de ponta serão apresentados lado a lado com maquinaria e equipamento convencionais. Da linha de produção à prensa de oficina, a gama em exibição é muito vasta. É por isso que a **Euro-BLECH 98** é obrigatória para todos os que estão envolvidos em trabalho em chapas metálicas; é, verdadeiramente, o evento do ano.

Mais de 1 000 expositores distribuídos por sete salões apresentarão tecnologia de ponta do trabalho em chapas metálicas, claramente subdividida nas categorias apropriadas. Excelentes ligações de transportes tornam fácil chegar à exposição, que possui 50 000 espaços para estacionamento próximo dos salões de exposição. Existe disponível uma vasta selecção de alojamentos.

Para obter informação, os visitantes queiram contactar os organizadores:

**Euro-BLECH 98**  
**MACK-BROOKS EXHIBITIONS LTD**  
Forum Place, Hatfield, Herts. AL10 0RN, Inglaterra  
Tel: +44 1707 275641 Fax: +44 1707 275544  
Internet: [www.Euro-BLECH.de](http://www.Euro-BLECH.de)



### Perfil da exposição

Produtos em chapas metálicas/semi-acabados e acabados

Manipulação

Separação/Corte

Conformação

Tecnologia de trabalho em chapas metálicas flexíveis

Trabalho em tubo/secção

Componentes de máquinas

Soldadura/União

Tratamento de superfície

Ferramentas/Moldes

Controlo de processo/  
Garantia de qualidade

Processamento de dados/  
CAD/CAM/CIM

Equipamento de fábrica e armazém · Segurança no trabalho

Protecção do ambiente

Serviços