

DL 07.MAI.2001*194087

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA



Desenvolvimento de uma Célula Flexível de Fabrico

António Manuel Pereira Ferrolho

(Licenciado)

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
SISTEMAS E AUTOMAÇÃO – ÁREA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL



Coimbra, Março de 2001

Tese realizada sob a orientação do

Prof. Doutor Manuel Marques Crisóstomo

Professor Auxiliar do
Departamento de Engenharia Electrotécnica
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra

RESUMO

Actualmente, a necessidade de aumentar a produtividade e a flexibilidade dos processos produtivos requer a implementação de novas tecnologias e metodologias que satisfaçam esses requisitos. Em particular, as Células Flexíveis de Fabrico (CFF) apresentam potencialidades muito promissoras nesta matéria. As CFF proporcionam um aumento da flexibilidade do sistema produtivo, adequado a uma fácil e rápida adaptação às modificações do mercado e do produto.

Nesta tese, é feito o estudo dos ambientes de fabrico flexível. Para tal, foi concebida e implementada uma CFF no laboratório de Robótica e Produção Automática do Instituto de Sistemas e Robótica (ISR) de Coimbra. A referida CFF é constituída por: duas máquinas-ferramenta, dois robôs, um transportador, dois armazéns, um sistema de alarme, um armazém temporário, um sistema de embalagem e um computador. A CFF tem a capacidade de processar automaticamente diferentes tipos de peças, numa sequência aleatória e com capacidade para se adaptar à produção de novas peças. O trabalho incluiu a implementação do carregamento automático dos programas de maquinagem nos controladores das máquinas-ferramenta, a colocação de um armazém temporário perto das máquinas e o desenvolvimento de um sistema de embalagem automático para as peças maquinadas.

O desenho das peças é feito num sistema CAD/CAM (Desenho Assistido por Computador/Produção Assistida por Computador), permitindo produzir rapidamente e com precisão peças de alta qualidade. O CAD permite a criação de geometrias e o CAM gera os percursos de maquinagem.

Na CFF, foram testadas algumas actividades típicas de um sistema de produção, em particular, a maquinagem, o transporte e a embalagem automática de peças.

Palavras-Chave: Sistemas Flexíveis de Fabrico, Células Flexíveis de Fabrico , Controlo Numérico, Máquinas-ferramenta e Robótica.

Índice

	Pág.
1. Introdução.....	1
1.1 Automação dos Sistemas de Fabrico.....	1
1.2 Estrutura da Dissertação.....	2
2. Automação e Robótica	3
2.1 Desenvolvimento da Automação.....	3
2.2 Sistema Produtivo.....	6
2.3 Tipos de Processos.....	6
2.3.1 Processos Contínuos.....	6
2.3.2 Processos Descontínuos.....	7
2.4 Classes de Automação Industrial.....	8
2.5 Impacto da Automatização na Sociedade.....	10
2.6 Grandes Tendências nas Próximas Décadas.....	10
2.7 Definição de Manipulador e de Robô.....	11
2.8 Áreas de Aplicação dos Robôs.....	14
2.9 Tipos de Robôs.....	16
2.10 Posicionamento e Orientação do Órgão Terminal.....	17
2.11 Características Dinâmica do Robô.....	18
2.12 Actuadores em Robótica.....	19
2.13 Transmissões Mecânicas.....	21
2.14 Sensores em Robótica.....	23
2.14.1 Sensores Internos.....	24
2.14.2 Sensores Externos.....	27
2.15 Técnicas e Linguagens de Programação.....	27
2.15.1 Programação por Aprendizagem.....	28
2.15.2 Programação utilizando uma Linguagem Robótica de Alto Nível.....	28
2.15.3 Linguagens de Programação de Robôs.....	29
2.15.4 O Futuro das Linguagens de Programação dos Robôs.....	31
3. Sistemas Flexíveis de Fabrico.....	32
3.1 Substituição do Homem por Dispositivos Automáticos.....	32
3.2 Células Flexíveis de Fabrico e Sistemas Flexíveis de Fabrico.....	34
3.3 Elementos que podem fazer parte de uma CFF.....	38
3.3.1 Máquinas de Controlo Numérico.....	38
3.3.1.1 O Aparecimento das Máquinas de Controlo Numérico.....	38
3.3.1.2 Do NC ao CNC.....	39
3.3.1.3 Tipos de Máquinas CNC.....	41

3.3.2 Robôs.....	44
3.3.3 Veículos Guiados Automaticamente.....	44
3.3.3.1 Definição de Vias de Guiamento Baseado em Hardware.....	45
3.3.3.2 Métodos de Guiamento Baseado em Software.....	47
3.3.3.3 Sistemas de Comunicação com AGVs.....	47
3.3.3.4 Sistemas de Locomoção.....	49
3.3.4 Veículos Guiados por Trilhos e Tapetes Rolantes.....	50
3.3.5 Armazéns Automáticos.....	51
3.3.6 Sistemas de Controlo de Qualidade.....	52
4. Robô Scorbot ERVII.....	55
4.1 Generalidades.....	55
4.2 Características Principais.....	56
4.3 O Controlador.....	57
4.4 Volume de Trabalho.....	59
4.5 Modelo Geométrico.....	60
4.5.1 Modelo Geométrico Directo.....	60
4.5.1.1 Sistemas de Eixos e Tabelas de Parâmetros de Denavit e Hartenberg	60
4.5.1.2 Matrizes de Transformação.....	62
4.5.1.3 Posição e Orientação do Elemento Terminal.....	63
4.5.2 Modelo Geométrico Inverso.....	63
4.5.2.1 Método das Matrizes de Transformação Inversa.....	64
4.6 Modelo Cinemático.....	72
4.6.1 Cinemática Directa.....	72
4.6.1.1 Matriz Jacobiana.....	73
4.6.1.2 Jacobiano de um Manipulador.....	74
4.6.1.3 Jacobiano do Robô Scorbot ER VII.....	75
4.6.2 Cinemática Inversa.....	77
5. Implementação de uma CFF.....	78
5.1 Objectivos.....	78
5.2 Implementação Física dos Componentes na CFF.....	78
5.3 Matercam.....	91
5.3.1 Geometria da Peça Maquinada.....	91
5.3.2 Simulação de Percursos e Detecção de Colisões.....	92
5.3.3 Pós-Processamento.....	93
5.3.4 Transmissão do Ficheiro NC para o Controlador da Máquina.....	94
5.3.5 Conteúdo dos Ficheiros NC.....	95
5.4 Pontos de Referência das Máquinas-ferramenta.....	96
5.4.1 Ponto de Referência R.....	96
5.4.2 Zero da Máquina M.....	96

5.4.3	Ponto de Referência do Fixador de Ferramentas N	97
5.4.4	Zero da Peça W.....	97
5.4.5	Determinação e Introdução dos Zeros da Peça.....	97
5.4.6	Activação e Desactivação dos Zeros da Peça.....	98
5.4.7	Programação e Compensação das Ferramentas.....	99
5.5	Fluxogramas dos processos residentes no controlador do robô Br1.....	101
5.6	Fluxogramas dos processos residentes no controlador do robô Br2.....	111
5.7	Exploração da CFF.....	116
5.7.1	Inicialização.....	116
5.7.2	Início da Produção.....	117
6.	Conclusões e Trabalho Futuro.....	118
	Bibliografia.....	120

Bibliografia

- [ACL 95] "ACL – Advanced Control Language – Reference Guide", Eshed Robotec, 4ª Edição, 1995.
- [Asada et al. 86] H. Asada and J. J. E. Slotine, "Robot Analysis and Control", John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- [Craig 86] J. J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics & Control", Addison Wesley, 1986.
- [Crisóstomo 99] M. M. Crisóstomo, "Robótica", Publicações Internas ao DEEUC, 1999.
- [Delgado 92] J. Delgado, "AGVs – Veículos Auto-Guiados e Modernas Tecnologias de Manuseamento de Materiais", Publicações Internas ao DEEUC, 1992.
- [Emcoturn-120P 91] "Instruction Book, EMCOTURN-120P", EMCO, 1991.
- [Franz et al. 84] J. Franz, G. Leonhard, G. Paul, H. Witte and M. Hauck, "Comando Numérico CNC - Técnica Operacional – Curso Básico", Editora Pedagógica e Universitária Ltda., São Paulo, 1984.
- [Fu et al. 87] K.S. Fu, R.C. Gonzalez, and C.S.G. Lee, "Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence", McGraw-Hill, cop.1987.
- [Geradin] M. Geradin, "Elements de Robotique: Aspects Mecaniques",
- [Groover 87] M. P. Groover, "Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing", Prentice-Hall, Inc., 1987.
- [Groover et al. 86] M. P. Groover, M. Weiss, R. N. Nagel, and N. G. Odrey, "Industrial Robotics: Technology, Programming, and Applications", McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
- [Kief et al. 92] H. B. Kief and T. F. Waters, "Computer Numerical Control", Glencoe, Macmillan/McGraw-Hill, 1992.
- [Koren 83] Y. Koren, "Computer Control of Manufacturing Systems", McGraw Hill, 1983.
- [Koren 87] Y. Koren, "Robotics for Engineers", McGraw Hill, 1987.
- [Kusiak 90] A. Kusiak, "Intelligent Manufacturing Systems", Prentice-Hall, Inc., 1990.

- [Lima 96] M. F. M. Lima, "Desenvolvimento de Células de Fabrico Flexível: Simulação e Controlo", Tese de mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1996.
- [Lopes 99] A. M. F. M. Lopes, "Um Dispositivo Robótico para Controlo de Força-Impedância de Manipuladores Industriais", Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1999.
- [Mastercam 98] Mastercam version 7.0, "Reference Manual", 1998.
- [Mckerrow 91] P. J. Mckerrow, "Introduction to Robotics", Addison Wesley, Singapore, 1991.
- [Mourão 93] H. R. V. M. C. Mourão, "Estudo e Realização de Células de Fabrico Flexível: Desenvolvimento de uma aplicação", Tese de mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1993.
- [Operating Milling 91] "Operating Instruction, EMCOTRONIC TM 02 – Milling", EMCO, 1991.
- [Operating Turning 91] "Operating Instruction, EMCOTRONIC TM 02 – Turning", EMCO, 1991.
- [Paul 81] R. P. Paul, "Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control", The MIT Press, 1981.
- [Programming Milling 91] "Programming Instruction, EMCOTRONIC TM 02 – Milling", EMCO, 1991.
- [Relvas 00] C. Relvas, "Controlo Numérico Computorizado: Conceitos Fundamentais", Publindústria, Edições Técnicas, 2000.
- [Rembold et al. 93] U. Rembold, B.O. Nnaji and A. Storr, "Computer Integrated Manufacturing and Engineering", Addison-Wesley, 1993.
- [Sciavicco et al.96] L. Sciavicco and B. Siciliano, "Modeling and Control of Robot Manipulators", McGraw-Hill Book Company, 1996.
- [Scorbot 96] "Scorbot ER VII, User's Manual", Eshed Robotec, 2ª Edição, 1996.
- [Spong et al.89] M. W. Spong and M. Vidyasagar, "Robot Dynamics and Control", John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [Taborda 93] A. F. S. Taborda, "Planeamento e Sequenciamento da Produção em Células de Fabrico Flexível: Estudo de um caso", Tese de mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1993.
- [Textbook 84] Textbook 1, "Fundamentals of Robotics", Moshe Shoham, Eshed Robotec, 1984.

- [Vernon 91] D. Vernon, "Machine Vision: Automated Visual Inspection and Robot Vision", Prentice-Hall, 1991.
- [Viswanadham et al. 92] N. Viswanadham and Y. Narahari, "Performance Modeling of Automated Manufacturing Systems", Prentice-Hall, INC., 1992.

