

Faculdade de Ciências e Tecnologia
da
Universidade de Coimbra

NAVEGAÇÃO ASSISTIDA DE UMA CADEIRA DE RODAS
CONTROLADA POR COMPUTADOR
E COM INTERFACE DE VOZ

Gabriel Pereira Pires
Licenciado em Engenharia Electrotécnica



Dissertação apresentada no âmbito do Mestrado em Sistemas e Automação,
na especialidade em Automação Industrial, pela Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra, sob orientação do Prof. Doutor
Urbano Nunes.

Coimbra
Março de 2001

Resumo

Nesta dissertação são descritos resultados de investigação em navegação assistida e interfaces homem-máquina em sistemas robóticos orientados a humanos. A plataforma experimental utilizada, uma cadeira de rodas motorizada, foi munida de um conjunto de novas funcionalidades. Estas facilitam a acessibilidade e controlo da cadeira, contribuindo assim para uma maior autonomia dos seus utilizadores.

A dissertação começa por apresentar estratégias de navegação reactiva que permitem implementar um controlo partilhado entre o utilizador e o sistema. São descritos em particular, algoritmos reactivos baseados em comportamentos, nomeadamente, comportamentos de desvio de obstáculos e de seguimento de meta, e também mecanismos de coordenação de comportamentos.

Para a implementação dos algoritmos de navegação, foi necessário desenvolver uma infra-estrutura de *hardware* e *software* de suporte. A cadeira foi assim equipada com sensores de infravermelho, sonares e codificadores nas rodas, necessários para o desenvolvimento dos algoritmos. A arquitectura de *software* foi implementada de forma distribuída, garantindo maior modularidade ao sistema.

Implementou-se uma interface homem-máquina por comandos de voz. Esta nova interface trouxe uma alternativa à condução tradicional através de *joystick*.

Por fim, desenvolveu-se o módulo de navegação reactiva. Este consiste num controlador difuso que coordena a saída de um comportamento de desvio de obstáculos e os comandos fornecidos pelo utilizador. A finalidade do controlador é a de corrigir manobras desajustadas do utilizador. O controlador foi testado e validado experimentalmente, tendo apresentado resultados que mostram claramente a diminuição do esforço do utilizador na condução da cadeira.

Conteúdo

	v
Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
1 Introdução	1
1.1 Projecto RobChair	3
1.2 Sistema de Navegação	4
1.3 Interface Homem Máquina	5
1.4 Trabalho Desenvolvido	5
1.5 Estrutura da Dissertação	6
2 Arquitecturas de Navegação	7
2.1 Robótica Móvel	7
2.2 Arquitecturas de Controlo em Robótica móvel	8
2.2.1 Raciocínio Deliberativo vs. Controlo Reactivo	8
2.2.2 Processamento Centralizado vs. Processamento Distribuído	11
2.3 Arquitecturas Baseadas em Comportamentos	13
2.4 Modelação do Ambiente	16
3 Navegação Reactiva	19
3.1 Coordenação de Comportamentos	19
3.2 Estratégias de Navegação Baseadas em Comportamentos	21

3.2.1	Arquitectura de Submissão	22
3.2.2	Campos Potenciais	23
3.2.3	Diagramas Motores	30
3.2.4	VFF - Campo de Forças Virtuais	33
3.2.5	VFH - Histograma de Campos Vectoriais	35
3.2.6	Arquitectura DAMN	37
3.2.7	Lógica Difusa	39
3.3	Conclusões	54
4	Cadeiras de Rodas Inteligentes	55
4.1	Cadeiras de Rodas	55
4.2	Áreas de Investigação e Desenvolvimento	57
4.2.1	Navegação e Segurança	57
4.2.2	Interfaces Homem-Máquina	63
4.2.3	Adaptações Mecânicas	65
5	Cadeira de Rodas RobChair: Hardware	67
5.1	Cadeira de Rodas	67
5.2	Descrição Geral	70
5.3	Electrónica	70
5.3.1	Microcontrolador	70
5.3.2	Módulo de Controlo dos Motores e <i>Joystick</i>	72
5.3.3	Sistema Sensorial	78
5.4	Rede Local Ethernet	85
6	Cadeira de Rodas RobChair: Software	87
6.1	Sistema Global	87
6.2	ARC	87
6.2.1	Sistema de Tempo Real	88
6.3	Arquitectura: Servidor ARC_Server	89
6.3.1	Comunicação Série	90
6.3.2	Aquisição Sensorial	92
6.4	Arquitectura: Servidor RobChair	93
6.4.1	Comunicação entre Processos	94

6.4.2	Interface Gráfica (Gui_Chair)	96
6.5	Servidor de Reconhecimento de Voz	102
6.5.1	Pacote de <i>software</i> Dragon	103
6.5.2	Aplicação Rec_Voz	104
7	RobChair: Arquitectura, Funcionamento e Cinemática	109
7.1	Objectivos	109
7.2	Arquitectura de Controlo	111
7.3	Módulo de navegação Reactiva	112
7.3.1	Mecanismos de Arbitração	116
7.3.2	Escolha do Método de Navegação Reactiva	116
7.4	Sistema Sensorial	117
7.5	Modelo Cinemático	119
7.5.1	Odometria	121
8	Controlador Difuso	125
8.1	Entradas e Saídas do Controlador	125
8.2	Módulo de Difusão	128
8.3	Lógica de decisão: implicação e operadores lógicos	130
8.4	Módulo de Desdifusão	134
8.5	Definição da Base de Regras	136
8.6	Comportamentos	136
8.6.1	Desvio Inteligente de Obstáculos	136
8.6.2	Seguimento de Superfícies	140
8.7	Conclusões	146
9	Resultados	147
9.1	Implementações Mecânicas e Sensores	147
9.1.1	Mecânica	147
9.1.2	Sensores	147
9.2	Odometria	148
9.3	Condução Remota da Cadeira	149
9.4	Desvio de Obstáculos Inteligente	149
9.4.1	Identificação de Problemas	151

9.5	Passagem de Porta	151
9.6	Conclusões e Trabalho Futuro	152
9.6.1	Conclusões	152
9.6.2	Trabalho Futuro	153
A	Controlo por Lógica Difusa	161
A.1	Conceito de Lógica Difusa e Controlo difuso	161
A.2	Conjuntos Difusos	162
A.2.1	Funções de Pertença	163
A.2.2	Variáveis Linguísticas e Termos	165
A.2.3	Relações	171
A.2.4	Implicação e Inferência	174
A.3	Controlador Difuso	176
A.3.1	Módulo de Difusão	176
A.3.2	Módulo de Inferência	176
A.3.3	Módulo de Desdifusão	179
B	Esquemáticos de Hardware	183
	Bibliografia	192

Bibliografia

- [Ara00] Rui Araújo. *Controlo Difuso e Aprendizagem*. Relatório interno do Departamento de Engenharia Electrotécnica - Coimbra, 2000.
- [Ark87] R. C. Arkin. Motor schema navigation for a mobile robot: An approach to programming by behavior. *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, pages 264–270, 1987.
- [Ark90] R. C. Arkin. Integrating behavioral, perceptual, and world knowledge in reactive navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, 6:105–122, 1990.
- [Ark98] R. C. Arkin. *Behavior-Based Robotics*. MIT Press, 1998.
- [BBL⁺94] D.A. Bell, J. Borenstein, S. P. Levine, Y. Koren, and L. Jaros. An assistive navigation system for wheelchairs based upon mobile robot obstacle avoidance. *IEEE Conference on Robotics and Automation*, pages 2018–2022, 1994.
- [BHH⁺95] U. Borgolte, R. Hoelper, H. Hoyer, H. Reck, W. Humann, J. Nedza, I. Craig, R. Vallegi, and A.M. Sabatini. Intelligent control of a semi-autonomous omnidirectional wheelchair. *3rd International Symposium on Intelligent Robotic Systems '95*, pages 113–120, 1995.
- [BK89] J. Borenstein and Y. Koren. Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 19(5):1179–1187, 1989.
- [BK91] J. Borenstein and Y. Koren. The vector field histogram - fast obstacle avoidance for mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(3):278–288, 1991.

- [BLK⁺94] D.A. Bell, S. P. Levine, Y. Koren, L. A. Jaros, and J. Borenstein. Design criteria for obstacle avoidance in a shared-control system. *In proc. of the conf. RESNA '94 annual Conference*, pages 581–583, 1994.
- [BMG⁺99] L. Bergasa, M. Mazo, A. Gardel, J. Garcia, A.-Ortuno, and A. Mendez. Guidance of a wheelchair for handicapped people by face tracking. *7th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pages 105–111, 1999.
- [Bro86] A. Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2(1):14–23, 1986.
- [Car95] J. Carretas. Associação portuguesa de deficientes - cadeiras de rodas. 1995.
- [CN00] J. Cruz and U. Nunes. Generating local maps for mobile robots. *Controlo2000: 4th Portuguese Conference on Automatic Control*, pages 412–417, 2000.
- [Co.] British Encoder Products Co. Disponível na página: <http://www.brit-encoder.com>.
- [Com98] Nomadic Communications. Mercury user's guide version 2.0, 1998.
- [Dra95] Dragon. *Dragon Voice Tools Developer's Kit*. 1995.
- [Elf87] A. Elfes. Sonar-based real-world mapping and navigation. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-3(3):249–265, 1987.
- [fPR] Kiss Institute for Practical Robots. Disponível na página: <http://www.kipr.org>.
- [Gil] Penny & Giles. Disponível na página: <http://www.penny-giles-controls.co.uk/>.
- [HMB93] C.J. Harris, C.G. Moore, and M. Brown. *Intelligent Control - Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets*. World Scientific in Robotics and Automated Systems, 1993.
- [HS90] G. Hanke and G. Shafer. Applying optical measurement techniques. *Sensor Review*, 10:30–34, 1990.

- [Jan91] J. Jantzen. *Fuzzy Control -lectures notes*. Publication nr. 9109 Technical University of Denmark, 1991.
- [KB91] Y. Koren and J. Borenstein. Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation. *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, pages 1398–1404, 1991.
- [KBB⁺94] K. Kawamura, M. Bishay, S. Bagchi, A. Saad, M. Iskarous, and M. Fumoto. Intelligent user interface for a rehabilitation robot. *4th International Conference on Rehabilitation Robotics*, pages 31–35, 1994.
- [Kha86] O. Khatib. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *The International Journal of Robotics Research*, 5:90–98, 1986.
- [KMRS97] K. Konolige, K. Mayers, E. Ruffini, and A. Safiotti. The saphira architecture: A design for autonomy. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence (JETAI)*, 9:215–235, 1997.
- [KT86] B. Krogh and C.E. Thorpe. Integrated path planning and dynamic steering control for autonomous vehicles. *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, pages 1664–1669, 1986.
- [KTP⁺97] N.I. Katevas, N.M. Sgouros. S.G. Tzafestas, G. Papakonstantinou, P. Beattie, J.M. Bishop, P. Tsanakas, and D. Koutsouris. The autonomous mobile robot senario: A sensor-aided intelligent navigation system for powered wheelchairs. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, pages 60–70, December 1997.
- [Lab] Newton Research Labs. Disponível na página: <http://www.newtonlabs.com>.
- [Lat91] J. C. Latombe. *Robot Motion Planning*. Kluwer Academics Publishers, 1991.
- [Lee89] Kai-Fu Lee. *Automatic Speech recognition - The development of SPHINX System*. Kluwer Academics Publishers, 1989.
- [LH97] C. Lopes and N. Honório. *Comando por Voz de uma Cadeira de Rodas Robotizada*. Relatório interno do Departamento de Engenharia Electrotécnica - Coimbra, 1997.

- [LHCL99] R. Luo, C Hu, T. Chen, and M. Lin. Force reflective feedback control for intelligent wheelchairs. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 918–923, 1999.
- [LLS⁺94] T. Laengle, T. Lueth., E. Stopp, G. Herzog, and G. Kamstrup. Kantra - a natural language interface for intelligent robots. *3rd IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication, RO.MAN'94*, pages 106–111, 1994.
- [Miz] M. Mizumoto. Fuzzy controls under product-sum gravity methods and new fuzzy control methods. *Control Systems*, pages 276–294.
- [MNdA99] L. Marques, U. Nunes, and A. T. de Almeida. Sensor optoelectrónico reflectivo com potência de emissão variável e detecção digital. *Anais da Engenharia e Tecnologia Electrónica*, IV(7):64–68, 1999.
- [Mot95] Mot. Mc68332 user's manual. 1995.
- [NPC00] U. Nunes, G. Pires, and P. Coelho. Assistive navigation control architecture. *Systems and Control: Theory and Applications, N. Mastorakis (Ed.), WSE Press*, pages 38–43, 2000.
- [Nye90] Adrian Nye. *X Protocol Manual - Volume Zero*. O' Reilly Associate Inc, 1990.
- [Ons95] Ons. Tattletale model 8 - installation and operation manual. 1995.
- [PANA98] G. Pires, R. Araújo, U. Nunes, and A. T. Almeida. Robchair: A powered wheelchair using a behaviour-based navigation. *5th IEEE Int. Workshop on Advanced Motion Control (AMC'98)*, pages 536–541, 1998.
- [Ped93] W. Pedrycz. *Fuzzy control- second extended edition*. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Manitioba, Canadá, 1993.
- [Pol] Polaroid. Polaroid datasheet.
- [RL99] T. Rofer and A. Lankenau. Ensuring safe obstacle avoidance in a shared-control system. *7th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pages 1405–1414, 1999.

- [Ros95] J. Rosenblatt. Damn: A distributed architecture for mobile robot navigation. *AAAI'95 Spring Symposium on Lessons learned for Implemented Software Architectures for Physical Agents*, pages 167–178, 1995.
- [RP99] M. Ribo and A. Pinz. A comparison of three uncertainty calculi for building sonar-based occupancy grids. *Proceedings of the 7th International Symposium on Intelligent Robotic Systems*, pages 235–243, 1999.
- [RSK95] E. Ruffini, A. Safiotti, and K. Konolige. Progress in research on autonomous vehicle motion planning. *Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, IEEE Press*, 1995.
- [Saf97a] A. Safiotti. Fuzzy logic in autonomous robotics: behaviour coordination. *Proceedings of the 6th IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, pages 573–578, 1997.
- [Saf97b] A. Safiotti. The uses of fuzzy logic in autonomous navigation: a catalogue raisonné. *Soft Computing*, 1:180–197, 1997.
- [Sie94] B. Siemiatkowska. A highly parallel method for mapping and navigation of an autonomous mobile robot. *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, pages 2796–2801, 1994.
- [SL97] R. Simpson and S. Levine. Adaptive shared control of a smart wheelchair operated by voice control. *IEEE/RSJ IROS'97 Conference*, pages 622–626, 1997.
- [SRK93] A. Safiotti, E. Ruspini, and K. Konolige. Blending reactivity and goal-directedness in fuzzy controller. *Proceedings of the Second IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, pages 134–139, 1993.
- [TBFF98] S. Thrun, A. Bucken, W. Burgard, and D. Fox. Map learning and high-speed navigation in rhino. *A.I.-Based Mobile Robots: Case studies of successful robot systems*, pages 1–24, 1998.
- [Tid94] Tide. Technology initiative for disabled and elderly people - bridge phase-synopses. 1994.

- [Til90] R. Tilove. Local obstacle avoidance for mobile robots based on the method of artificial potentials. *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, pages 566-571, 1990.
- [WKK94] P. Wellman, V. Krovi, and V. Kumar. An adaptative mobility system for the disabled. *IEEE Int. Conference on Robotics and Automation*, pages 2006-2011, 1994.
- [WSW96] A. Wright, R. Sargent, and C. Witty. Arc development system user's guide - manual edition 1.0 - documents arc version 1.4, 1996.
- [YP95] J. Yen and N. Pfluger. A fuzzy logic based extension to payton and rosenblatt's command fusion method for mobile robot navigation. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 25(6):971-978, 1995.
- [ZO96] T. Zhao and M. Overmars. *Forms Library - A graphical User Interface Toolkit for X*. 1996.

