

视觉仿生成像制导 技术及应用



Vision Bionics Image Guidance
Technique and Application

李言俊 张科 著



国防工业出版社

视觉仿生成像制导技术及应用

Vision Bionics Image Guidance Technique and Application

李言俊 张科 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

视觉仿生成像制导技术及应用/李言俊,张科著.

北京:国防工业出版社,2006.3

ISBN 7-118-04391-5

I. 视... II. ①李... ②张... III. 导弹制导
IV. TJ765.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 014659 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10½ 字数 267 千字

2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主 任 委 员	刘成海			
副 主 任 委 员	王 峰	张涵信	程洪彬	
秘 书 长	程洪彬			
副 秘 书 长	彭华良	蔡 锺		
委 员	于景元	王小谟	甘茂治	刘世参
(按姓名笔画排序)	杨星豪	李德毅	吴有生	何新贵
	佟玉民	宋家树	张立同	张鸿元
	陈冀胜	周一宇	赵凤起	侯正明
	常显奇	崔尔杰	韩祖南	傅惠民
	舒长胜			

前 言

自然界在亿万年的演化过程中孕育了各种各样的生物,每种生物都拥有神奇的特性与功能,因此能够在复杂多变的环境中生存下来。仿生学就是以生物为研究对象,研究生物系统的结构性质、能量转换和信息传递过程,并将所获得的知识用于改善现有的或创造崭新的机械、仪器、建筑结构和工艺过程的科学。它是生物科学与工程技术相结合的一门综合的边缘科学。

近几年来,仿生技术得到迅速发展,在军事、医学、工业、建筑业、信息产业等系统获得了相当广泛的应用,许多国家在生物学、物理学、化学、材料学、工程技术等领域设立了大批仿生学研究课题,发达国家更是投入了大量资金和人力抢先开展多方面的研究和产品开发,获得了惊人的进展,仿生技术已成为国内外的热点学科之一。

自 1994 年以来,我们课题组一直进行着视觉仿生成像制导技术及应用方面的研究工作,开展了蜚复眼、蝇复眼和人眼视觉仿生在成像制导中应用的基础研究工作,重点研究了这 3 种视觉系统的视觉机制在红外成像制导中的应用,通过仿生技术方法,将蜚复眼、蝇复眼和人眼视觉系统的信息处理机制引入成像制导系统,用于解决精确制导技术中的图像信息处理、大小视场转换、图像整合、运动检测、目标识别、大视场角下的目标探测与跟踪等问题。本书就是我们课题组多年研究成果的精选、整理和汇总。

本书共分为 4 章:第 1 章为绪论,介绍了仿生技术、红外成像制导方面的基本概念、研究现状及需要解决的一些关键技术问题,同时对我们视觉仿生成像制导技术研究中所取得的成果进行了简要概述;第 2 章至第 4 章为本书的重点,分别介绍了我们将蜚视

觉、蝇视觉和人眼视觉仿生应用于成像制导方面的研究成果,包括蜚视觉系统的侧抑制现象及数学模型、数字式非循环侧抑制网络、循环侧抑制网络、仿蝇视觉红外图像处理方法与模式识别、人眼视网膜尺度空间建模方法、生物启发的特定任务视觉算法、视网膜视皮层映射的实现算法及基于非均匀变换阵的图像处理与识别等。

本书由西北工业大学李言俊教授、张科副教授主要撰写,西北工业大学高阳博士和王立博士、二炮工程学院陈励华讲师、空军工程大学工程学院李永华博士也参加了编写。参加有关课题研究的成员有李言俊、张科、高阳、王立、王国锋、李青湘、王怀野、王红梅、王琪、刘惠中、马洪忠等。

本书内容的研究受到了航空科学基金(94D53063,98D53039,04I53067)、高等学校博士学科点专项科研基金(20020699014)、航天科技创新基金、国防科技预研基金和武器装备预研基金(51401040204HK0334)的资助,在此表示衷心感谢。

西北工业大学研究生创新实验中心和国防工业出版社对本书的编写和出版给予了热情支持,对此深致谢忱。书中如有不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2005年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 仿生技术	1
1.1.1 仿生技术发展概况	1
1.1.2 仿生技术分类及主要研究内容	2
1.2 红外成像制导技术	8
1.2.1 红外成像制导技术发展概况	8
1.2.2 红外成像制导的基本原理及特点	12
1.2.3 红外制导系统的结构及工作过程	14
1.3 视觉仿生成像制导技术	15
1.3.1 萤复眼仿生技术	16
1.3.2 蝇复眼仿生技术	18
1.3.3 人眼仿生技术	19
第 2 章 萤视觉系统原理及其在成像制导中的应用	23
2.1 萤视觉系统的研究意义及国内外研究现状	23
2.1.1 萤视觉系统的研究意义	23
2.1.2 萤视觉系统的国内外研究现状	24
2.2 萤视觉系统的侧抑制现象及数学模型	26
2.2.1 Hartline 等人对于萤视网膜中抑制性相互作用的研究	26
2.2.2 侧抑制原理的作用及应用	32
2.3 数字式细胞神经网络(DCNN)在图像处理中的应用	39
2.3.1 人工神经网络概述	39
2.3.2 细胞神经网络及数字式细胞神经网络理论	

简介	41
2.3.3 DCNN 在图像二值化中的应用	47
2.4 数字式非循环侧抑制网络	50
2.4.1 数字式非循环侧抑制网络的定义	51
2.4.2 数字式非循环侧抑制网络的稳定性	52
2.4.3 数字式非循环侧抑制网络在图像增强中的 应用	55
2.4.4 侧抑制网络在图像匹配中的应用	72
2.4.5 数字式非循环侧抑制网络在联想记忆中的 应用	75
2.5 循环侧抑制网络	82
2.5.1 循环侧抑制网络与非循环侧抑制网络的 主要区别	82
2.5.2 循环侧抑制网络的数学模型	85
2.5.3 循环侧抑制网络对图像的对比度增强 验证	89
第3章 蝇视觉仿生在成像制导中的应用	91
3.1 蝇视觉系统的研究意义	91
3.1.1 研究的背景及科学意义	91
3.1.2 国内外研究现状	93
3.1.3 需要解决的关键技术问题	96
3.2 蝇复眼的生理及物理过程	97
3.2.1 蝇视觉系统的生理结构	97
3.2.2 复眼的光学特性和成像特性	101
3.3 运动检测器及图像速度估计	104
3.3.1 运动检测器模型分析	104
3.3.2 运动检测器的一般算法	108
3.3.3 运动检测器对宽带运动图像的速度 估计	115
3.4 图像的仿生眼镶嵌整合	126

3.4.1	图像的配准	128
3.4.2	基于小波分解的仿复眼图像整合方法	133
3.5	蝇复眼仿生在红外成像制导中的综合应用	142
3.5.1	仿蝇复眼的红外成像导引头设计	142
3.5.2	图像配准算法的简化	148
3.5.3	蝇复眼视觉机制在红外成像制导中的综合 应用	149
第4章	人眼视觉仿生在成像制导中的应用	153
4.1	人眼视觉系统研究概论	153
4.1.1	人眼视觉系统的研究意义	153
4.1.2	人眼视觉系统的研究现状	155
4.1.3	机器视觉的研究概况与方法论	157
4.1.4	生物视觉研究在红外成像制导中的应用 前景	159
4.1.5	本章主要研究内容	163
4.2	人眼视觉机制	165
4.2.1	视觉系统通路	165
4.2.2	视网膜生理结构和机制	165
4.2.3	膝状体与视皮层	172
4.3	人眼视觉系统的侧抑制与感受野机制	175
4.3.1	人眼视觉系统的侧抑制信息处理 机制	175
4.3.2	侧抑制与感受野的联系	176
4.3.3	基于能量恢复的侧抑制边缘检测方法	181
4.3.4	Off型感受野模型的应用	184
4.4	眼球微动与超分辨机制	187
4.4.1	人眼微动与视觉适应性	189
4.4.2	视网膜动态分析与模拟	191
4.4.3	视觉的分辨率问题分析	199
4.5	视网膜尺度空间建模设计	203

4.5.1	视网膜的尺度性质	204
4.5.2	新高斯空间卷积模板的构造	206
4.6	视网膜视皮层映射实现算法研究	214
4.6.1	视觉系统的非均匀性映射与传输分析	215
4.6.2	对数极坐标映射实现算法	217
4.6.3	非均匀映射的推广	235
4.6.4	空间变分辨率视觉系统快速实现研究	245
4.7	基于对数极坐标映射变换阵的匹配识别算法	249
4.7.1	基于非均匀变换阵的图像处理与识别 前景	250
4.7.2	基于变换阵的匹配识别与跟踪算法	253
4.8	生物启发的特定任务视觉算法	279
4.8.1	基于费克纳定律的红外图像增强	280
4.8.2	基于背景抑制的空中红外图像分割	285
4.8.3	基于 Radon 变换的机场跑道识别	291
4.8.4	小结	296
4.9	空间变分辨率机制在红外成像制导中的应用	296
4.9.1	空间变分辨率机制在红外成像制导系统 中的实现	297
4.9.2	基于空间双模描述的内外场景并行实现 模型	302
参考文献		311

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Bionics Technique	1
1.1.1 General Situation of Development of Bionics Technique	1
1.1.2 Sorts of Bionics Technique and Main Research Content	2
1.2 Infrared Image Guidance Technique	8
1.2.1 General Situation of Development of Infrared Image Guidance Technique	8
1.2.2 Basic Theories and Characteristics of Infrared Image Guidance	12
1.2.3 Framework and Work Process of Infrared Guidance System	14
1.3 Technique of Vision Bionics Image Guidance	15
1.3.1 Limulus'Ommateum Bionics Technique ...	16
1.3.2 Fly's Ommateum Bionics Technique	18
1.3.3 Human Vision Bionics Technique	19
Chapter 2 Theory of Limulus'Vision System and the Application in Image Guidance	23
2.1 Research Significance and Actuality at Home and Aboard	23
2.1.1 Research Significance of Limulus'Vision System	23
2.1.2 Research Actuality of Limulus'Vision	

System at Home and Aboard	24
2.2 Lateral Inhibitory Phenomena of Limulus' Vision	
System and Math Model	26
2.2.1 Research on Lateral Inhibitory Interaction	
in Limulus' Retina by Hartline and Others ...	26
2.2.2 Effects and Applications of Lateral	
Inhibitory Theory	32
2.3 Applications of Digital Cell Nerve Network	
(DCNN) in Image Processing	39
2.3.1 Summarizing of Artificial Nerve	
Network	39
2.3.2 Brief Introduction of Cell Nerve Network	
and Digital Cell Nerve Network Theory ...	41
2.3.3 Application of DCNN in Image	
Binarization	47
2.4 Digital Non-cycling Lateral Inhibitory Network	50
2.4.1 Definition of Digital Non-cycling Lateral	
Inhibitory Network	51
2.4.2 Stability of Digital Non-cycling Lateral	
Inhibitory Network	52
2.4.3 Application of Digital Non-cycling Lateral	
Inhibitory Network in Image	
Enhancement	55
2.4.4 Application of Lateral Inhibitory Network	
in Image Matching	72
2.4.5 Application of Associated Memory of Digital	
Non-cycling Lateral Inhibitory Network ...	75
2.5 Cycling Lateral Inhibitory Network	82
2.5.1 Main Difference between Cycling Lateral	
Inhibitory Network and Non-cycling Lateral	

	Inhibitory Network	82
2. 5. 2	Math Model of Cycling Lateral Inhibitory Network	85
2. 5. 3	Image Contrast Enhancement Validation of Cycling Lateral Inhibitory Network	89
Chapter 3 Application of Fly Vision Bionics in Image		
	Guidance	91
3. 1	Research Significance of Fly Vision System	91
3. 1. 1	Research Background and Scientific Significance	91
3. 1. 2	Research Actuality at Home and Aboard	93
3. 1. 3	Key Technological Problems to Be Settled ...	96
3. 2	Physiological and Physical Process of Fly's Ommateum	97
3. 2. 1	Physiological Structure of Fly's Vision System	97
3. 2. 2	Optical and Imaging Characteristics of Ommateum	101
3. 3	Movement Measurer and Image Velocity Estimation	104
3. 3. 1	Model Analysis of Movement Measurer	104
3. 3. 2	Common Algorithm of Movement Measurer	108
3. 3. 3	Velocity Estimation of Wide-band Moving Image for Movement Measurer	115
3. 4	Imitated Ommateum Incrustation Conformity of Image	126
3. 4. 1	Image Matching	128
3. 4. 2	Imitated Ommateum Incrustation	

Conformity Method Based on Wavelet Analysis	133
3. 5 Integrated Application of Fly's Ommateum Bionics in Infrared Image Guidance	142
3. 5. 1 Design of Infrared Imaging Seeker of Bionic Fly's Ommateum	142
3. 5. 2 Simplification of Image Matching Algorithm	148
3. 5. 3 Integrated Application of Fly's Ommateum Vision Mechanism in Infrared Image Guidance	149
Chapter 4 Application of Human Vision Bionics in Image Guidance	153
4. 1 Research Generality of Human Vision System	153
4. 1. 1 Research Significance of Human Vision System	153
4. 1. 2 Research Actuality of Human Vision System	155
4. 1. 3 General Situation of Research on Computer Vision and Methodology	157
4. 1. 4 Application Foreground of Bionics Vision Research in Infrared Image Guidance	159
4. 1. 5 Main Research Comment of the Chapter	163
4. 2 Human Vision Mechanism	165
4. 2. 1 Vision System Gateway	165
4. 2. 2 Retina Physiological Structure and Mechanism	165
4. 2. 3 Geniculate Body and Cortex	172
4. 3 Lateral Inhibitory and Receptive Field of Human Vision System	175

4. 3. 1	Information Processing Mechanism of Lateral Inhibitory of Human Vision System	175
4. 3. 2	Relation of Lateral Inhibitory and Receptive Field	176
4. 3. 3	Lateral Inhibitory Margin Inspection Method Based on Energy Resumption ...	181
4. 3. 4	Application of Type Off Receptive Field	184
4. 4	Eyeball Micromotion and Super Resolution Mechanism	187
4. 4. 1	Human Eyeball Micromotion and Vision Adaptability	189
4. 4. 2	Dynamic Analysis and Simulation of Retina	191
4. 4. 3	Analysis of Problem about Vision Resolution Rate	199
4. 5	Modeling Design in Retina Scale Space	203
4. 5. 1	Scale Characteristics of Retina	204
4. 5. 2	New Construction of Convolution Breadboard in Gauss Space	206
4. 6	Research on Actualized Algorithm of Retino- cortical Mapping	214
4. 6. 1	Non-uniformed Mapping and Transfer Analysis of Vision System	215
4. 6. 2	Actualized Algorithm of Log Polar Coordinates Mapping	217
4. 6. 3	Extension of Non-uniformed Mapping ...	235
4. 6. 4	Research on Fast Realization of Space Variant Resolution Rate Vision System	245