

多源夜视图像认知计算 理论与方法

柏连发 韩 静 张 毅 著



科学出版社

多源夜视图像认知计算 理论与方法

柏连发 韩 静 张 毅 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书较全面地论述认知计算在夜视图像处理中的前沿理论与方法。主要内容包括仿生视觉感知机理、夜视图像视觉增强、夜视图像视觉特征提取、夜视图像视觉显著检测、非训练夜视目标认知检测、时-空-谱夜视目标识别定位、多源夜视图像融合系统,以及窄带光谱成像探测系统等。本书反映了国内外发展现状和最新成果,也包含了作者近年来在这一领域的主要研究成果。

本书可作为高等学校光电、计算机、自动化等专业的研究生、高年级本科生教材,同时可供从事夜视图像分析、计算机视觉、人工智能等相关领域的专业研究人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

多源夜视图像认知计算理论与方法/柏连发等著. —北京:科学出版社, 2017. 8

ISBN 978-7-03-054127-7

I. ①多… II. ①柏… III. 认知-计算技术-应用-夜视技术-图象处理-研究 IV. ①TN22②TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 191600 号

责任编辑:赵敬伟/责任校对:王晓茜 彭珍珍

责任印制:张 伟/封面设计:耕者工作室

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 1 月第二次印刷 印张:31 插页:12

字数:625 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着复杂自动控制系统、光电信号变换与检测技术的不断涌现,以及信息处理理论与技术的不断提高,具有综合性能的自动化、智能化光电系统得到了进一步发展,形成了包括光学、电子学和计算机科学高度知识集中的新领域——现代成像系统及光电信息技术。本书围绕新型夜视光电信息处理技术及应用,展开深入探讨。

夜视技术是利用夜晚天空辐射对目标的照射或景物自身热辐射,借助夜视成像系统观察、理解景物图像的技术。现代夜视技术已广泛应用于工业、农业、国防、科研和家庭生活等领域,其中均涉及夜视成像探测问题。但是由于目标多样性和场景复杂化,传统的夜视信息处理方法难以满足实际应用需求,因此智能仿生科学和现代计算检测技术成为突破的关键手段和方法。目前夜视光电成像探测技术中不断涌现出新器件、新思想、新方法,其中基于认知计算的新型夜视信息探测感知技术及成像系统应用是一个重要的新兴发展方向。

本书从系统研制和多领域应用出发,详细论述了认知计算在夜视图像处理中的前沿理论与方法,全书共分9章。第1章绪论,阐述视觉认知机理和应用,这是后续章节视觉建模的相关生物机理和理论基础;第2章夜视图像视觉增强,阐述微光稀疏降噪和红外视觉增强的相关内容;第3章夜视图像视觉特征提取,阐述夜视图像背景抑制、视觉轮廓提取和分割的相关内容;第4章夜视图像显著检测,阐述夜视场景空间域显著分析和视觉注意的相关内容;第5章非训练夜视目标认知检测,阐述非训练模式下,基于视觉空间结构性和稀疏性的刚性、非刚性夜视目标鲁棒检测的相关内容;第6章时-空-谱夜视目标识别定位,阐述基于 what 和 where 视觉认知的多光谱夜视目标识别、运动识别及检测定位的相关内容;第7章多源夜视图像融合系统,阐述多源夜视图像融合系统的软硬件设计和多光谱融合的相关内容;第8章窄带光谱成像探测系统,阐述窄带光谱成像探测系统的光学设计、硬件集成和成像光谱探测等相关内容;第9章双目立体夜视系统,阐述双目立体夜视系统的设计、搭建和场景三维、目标测距等相关内容。

本书作者在国家自然科学基金重点项目、面上项目等一系列研究课题的资助下开展了深入研究,取得多项国内外先进成果,作者通过对大量研究与实践的总结,归纳出多源夜视成像认知计算的一套理论与方法。本书在多波段夜视图像融合的基础上,首次提出基于认知计算的多源夜视信息感知技术,是对夜视技术的重要

创新。

当前有大量学者从事新型信息探测相关的研究工作，但尚无综合论述夜视信息智能感知相关技术的书籍。本书深入系统地论述了夜视信息计算及应用的多种创新思想、模型算法等，为夜视技术领域注入新的活力，可作为高等学校光电、计算机、自动化等专业的研究生、高年级本科生教材，同时可供从事夜视图像分析、计算机视觉、人工智能等相关领域的专业研究人员学习、参考。

本书有如下特色：

(1) 随着神经生理学、认知科学等领域的不断发展，将认知理论和视觉技术合起来的研究方法能够有效模拟人类感知机制和过程，在图像信息理解领域具有广阔的应用前景。但是由于相关研究涉及多学科交叉，一些新的发展和成果较为分散，暂时还没有系统介绍该方面研究的书籍，尤其是在夜视技术领域。本书为了改变这种局面，更好地促进夜视信息技术发展，着重介绍认知计算领域正在发展的一些新理论和新技术，并探索优化模型和新型算法，以解决感知计算和信息学习技术在夜视数据中的应用难题，力求向读者展示现代信息技术为夜视领域带来的重大突破。

(2) 本书系统分析了新型夜视图像感知与应用的相关理论与方法，提供的算法模型和硬件系统可以作为光电系统总体设计、算法设计和硬件设计人员的参考依据。根据目标特性和成像方式的差异，本书针对多光谱数据、视频数据等，研究不同的感知理解与探测算法，针对多类场景、目标探索不同处理机制，具有更强先进性和实用性。

(3) 本书为了使读者了解和掌握有关的理论知识，培养他们理论联系实际的能力，为他们今后从事本领域的研究工作、适应新技术的发展奠定必要的基础，探讨比较了一些最新的夜视系统和图像理解方法。并且本书特别注重内容的新颖性和实用性，兼顾从事夜视光电成像探测研究的科技工作者需求，在相应章节中编入国内外相关最新技术资料，内容的选取全面反映当代新型夜视领域的主要技术内涵和动态。

参与本书撰写的人员来自柏连发教授领导的研究小组，全书由柏连发、韩静博士共同撰写和统稿，其中张毅研究员执笔部分章节，校样过程中岳江博士，祁伟、金左轮、刘加奇、赵壮等博士研究生，吴传奇、马翼、张黎、孙希峰、张婷婷、崔议尹等硕士研究生做了大量工作。本书参考了大量近年来出版的相关技术资料，吸取了许多专家同仁的宝贵经验，在撰写过程中，金伟其、陈钱、章毓晋、李树涛、俞能海等教授提出了许多宝贵意见，在此向他们深表谢意。

本书是在国家自然科学基金重点项目 (61231014) “基于认知计算和信息挖掘的多波段夜视图像融合技术”、国家自然科学基金面上项目 (61373061) “基于流形

和视觉注意的复杂场景夜视目标识别”的研究成果基础上撰写的。在此对国家自然科学基金项目资助、江苏省“光学工程”优势学科建设经费支持表示衷心的感谢，同时也感谢南京理工大学研究生教育优秀工程项目资助。

作 者

2017 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 多源夜视图像视觉认知的研究内容	2
1.2 夜视图像融合与视觉认知计算	3
1.3 仿生视觉认知计算模型方法	5
1.3.1 元胞自动机理论	7
1.3.2 非经典感受野机制	8
1.3.3 视觉稀疏感知特性理论	10
1.3.4 视觉注意机制	11
1.3.5 what/where 视觉感知过程	12
1.3.6 视觉层次认知学习过程	14
1.4 视觉认知计算的夜视应用	16
1.4.1 基于稀疏表示的图像降噪	16
1.4.2 基于非经典感受野的轮廓提取	18
1.4.3 基于视觉特征的超分辨率重建	19
1.4.4 基于视觉注意的显著检测	21
1.4.5 基于稀疏分类的目标识别	22
1.4.6 基于层次化认知的目标检测定位	25
1.5 本书概述	26
参考文献	27
第 2 章 夜视图像视觉增强	36
2.1 夜视图像特性分析	36
2.1.1 微光图像噪声分析	36
2.1.2 红外图像特征分析	38
2.2 基于局部稀疏结构的降噪增强模型	41
2.2.1 局部结构保持稀疏编码	41
2.2.2 核化局部结构保持稀疏编码	43
2.2.3 编码实现	44
2.2.4 局部稀疏结构降噪模型	49
2.3 基于分层的红外图像增强模型	52

2.3.1 图像结构层	54
2.3.2 图像纹理层	55
2.3.3 基于结构约束的图像层整合	57
2.4 基于元胞自动机的红外图像增强模型	57
2.4.1 基于梯度分布的先验知识	58
2.4.2 基于梯度分布残差的先验知识	59
2.4.3 迭代准则	59
2.5 实验结果与分析	60
2.5.1 基于局部稀疏结构降噪模型	60
2.5.2 基于分层的红外图像增强模型	70
2.5.3 基于元胞自动机的红外图像增强模型	74
2.6 本章小结	77
参考文献	77
第 3 章 夜视图像视觉特征提取	81
3.1 活动轮廓模型	81
3.1.1 SLGS 模型	81
3.1.2 LBF 模型	83
3.2 基于 nCRF 的夜视图像显著轮廓提取	84
3.2.1 基于 WKPCA 同质地校正 nCRF 抑制模型的微光图像显著轮廓提取 ..	85
3.2.2 基于 nCRF 复合模型的复杂场景下夜视图像显著轮廓提取	98
3.2.3 两种模型对降噪前后微光图像轮廓提取效果比较	114
3.3 基于主动轮廓模型的光谱图像分割	115
3.3.1 自适应的基于多维特征的主动轮廓模型	115
3.3.2 基于空间-光谱信息的主动轮廓分割模型	128
3.4 本章小结	138
参考文献	139
第 4 章 夜视图像显著检测	142
4.1 视觉注意和显著分析	142
4.1.1 视觉感知系统	142
4.1.2 数据驱动的显著模型	144
4.1.3 任务驱动的显著模型	144
4.2 基于动态各向异性感受野的显著模型	145
4.2.1 离散型 C-S 模型	146
4.2.2 基于离散型 C-S 的显著检测算法	146

4.2.3 实验结果与分析	148
4.3 基于纹理显著性的微光图像目标检测	149
4.3.1 局部纹理粗糙度	149
4.3.2 纹理显著性度量	158
4.3.3 实验结果与分析	161
4.4 多模型互作用的视觉显著检测	164
4.4.1 基于布尔图和前景图的显著模型	164
4.4.2 基于图论布尔图的显著模型	170
4.4.3 实验结果与分析	174
4.5 本章小结	187
参考文献	187
第 5 章 非训练夜视目标认知检测	190
5.1 非训练夜视目标检测方法	190
5.2 基于局部与全局 LARK 特征的匹配模型的目标检测算法	191
5.2.1 LARK 算子	192
5.2.2 局部 LARK 特征和全局热扩散结合的红外目标检测模型	197
5.2.3 基于 LARK 特征和布尔图结合的红外目标检测模型	201
5.2.4 实验结果与分析	203
5.3 基于相似结构统计和近邻结构约束 LARK 特征的匹配模型	215
5.3.1 局部相似结构统计匹配模型	215
5.3.2 近邻结构匹配模型	221
5.3.3 实验结果分析	227
5.4 基于局部稀疏结构匹配模型的夜视目标鲁棒检测	234
5.4.1 局部稀疏结构匹配模型	234
5.4.2 LSSM 模型分析与夜视目标检测效果	238
5.5 本章小结	248
参考文献	248
第 6 章 时-空-谱夜视目标识别定位	251
6.1 WVN 模型生物机理	251
6.1.1 基于 what 和 where 信息的视觉感知模型	252
6.1.2 现有 WVN 模型综述	255
6.1.3 WVN 模型的延伸	256
6.2 3D-LARK 特征算子	257
6.2.1 基于空间-光谱的 3D-LARK	257

6.2.2	基于空间-时间的 3D-LARK	259
6.2.3	其他特征算子与 3D-LARK 的比较	260
6.3	基于金字塔分层模型的多光谱目标识别	261
6.3.1	基于 3D-LARK 和分层模型的多光谱目标检测	261
6.3.2	基于局部和近邻结构特征约束的目标检测模型	273
6.4	基于空间-时间结构约束的 3D-LARK 视频动作识别	286
6.4.1	邻域高斯结构时空统计匹配	286
6.4.2	双层结构融合的运动目标检测模型	288
6.4.3	实验测试与参数分析	295
6.5	本章小结	306
	参考文献	306
第 7 章	多源夜视图像融合系统	310
7.1	基于改进梯度互信息和粒子群优化算法的双波段图像配准	310
7.1.1	改进梯度互信息测度	311
7.1.2	改进粒子群优化算法	312
7.1.3	算法步骤及结果分析	315
7.2	基于灰度空间相关性的融合方法及其评价准则	317
7.2.1	基于灰度空间相关性的融合方法	317
7.2.2	基于灰度空间相关性的融合效果评价准则	323
7.3	基于改进小波的图像融合算法	326
7.3.1	基于局部特征残差与统计匹配的图像融合算法	327
7.3.2	基于局部梯度相关性与差值统计特征的图像融合算法	337
7.4	基于视觉并行处理机制的目标识别彩色夜视融合方法	346
7.4.1	感兴趣区域分水岭分割的 BP 神经网络典型目标识别	347
7.4.2	基于视觉并行处理机制的典型目标识别彩色夜视融合	357
7.5	多源夜视图像融合系统	359
7.6	本章小结	370
	参考文献	370
第 8 章	窄带光谱成像探测系统	375
8.1	窄带光谱成像系统	375
8.1.1	组件式窄带光谱系统	375
8.1.2	双光路双色散窄带光谱系统	379
8.1.3	基于 DMD 编码的哈达码变换高灵敏成像系统	384
8.1.4	基于 DMD 编码的哈达码变换多光谱成像系统	390

8.2 基于 SAM 加权 KEST 算法的多光谱夜视目标检测	391
8.2.1 EST 和 KEST 算法	391
8.2.2 SAM 加权 KEST 算法 (SKEST)	393
8.2.3 多光谱异常目标检测实验分析	397
8.3 基于空间一致性的高光谱分类	401
8.3.1 最小关联窗口的高光谱分类	401
8.3.2 基于空间一致性降元的高光谱分类	407
8.3.3 基于特征光谱段的目标提取算法	417
8.4 窄带光谱成像伪装目标探测实验	425
8.5 本章小结	428
参考文献	428
第 9 章 双目立体夜视系统	431
9.1 双目立体夜视系统中的相机标定	431
9.1.1 基于透射式标定板的红外相机标定方法	431
9.1.2 改进的光轴非平行模型	439
9.2 极线校正	441
9.2.1 基于粒子群优化算法的极线校正方法	442
9.2.2 基于单一变换矩阵的极线校正方法	450
9.3 基于遮挡现象以及低纹理区域的立体匹配算法	454
9.3.1 基于遮挡现象的立体匹配算法研究	454
9.3.2 基于低纹理区域的立体匹配算法研究	468
9.4 微光、红外双目立体视觉系统构建与实验	472
9.4.1 微光双目立体视觉系统	472
9.4.2 红外双目显著目标测距系统	477
9.5 本章小结	482
参考文献	482

彩图

第1章 绪 论

夜视技术作为一门延伸人类活动范围、突破人类视觉极限的技术，无论是在军事还是民用领域都获得了极大重视和广泛应用，如光照变化和低照度条件下的观察、监视和检测等。夜视仪器研究主要包括微光夜视、红外热成像、紫外成像、主动近红外成像系统等。

夜视系统从出现发展到现在，已经具备相当完整的理论和相对成熟的技术。然而夜视环境复杂，并且可能存在伪装目标、单一波段信息减弱和辐射波段移动等因素，会造成成像系统难以探测到目标或探测准确度下降。因此，通过传统单一波段图像传感器准确地感知和描述外界环境几乎不可能。西方强国在军事和民用领域，为提高系统对低照度环境的观察能力和多应用场景下的适应能力，较早地提出了多源多光谱夜视成像探测的概念，相关情况见图 1.1。



图 1.1 多传感器系统、战场环境和机载探测器

多源夜视技术使得多传感器信息相互补充，可以解决单一成像传感器信息不全面或不准确的问题。但是如何从多传感器的输出中提取（识别）有用信息，并融合显示给观察者成为新的难题。为此须将不同传感器所提供的信息加以综合，消除多源信息间可能存在的冗余和矛盾，形成对目标完整一致的信息描述，并且在合成图像中不损失各波段图像的重要信息或者造成图像质量下降。

随着夜视技术及其应用需求的发展，针对复杂场景环境的新型多源多光谱夜视信息处理理论与技术将成为智能化夜视场景理解、目标感知的研究热点。为了准确描述复杂夜视环境、有效检测跟踪可能存在的目标以及提高目标识别率，多源夜视感知理解理论与技术研究在国内外均有所开展。本书立足于多光谱夜视成像和信息融合技术，探索研究一系列基于仿生视觉认知计算机理的多光谱夜视环境感知、目标探测识别模型方法，显著提高复杂场景下的多源夜视图像理解能力。上述理论与技术研究可为各种夜视信息探测和处理提供新的技术途径，在公安、国防及

相关工业技术领域具有重要的科学价值与广阔的应用前景。

1.1 多源夜视图像视觉认知的研究内容

多源夜视技术是提高夜视探测能力的有效方法,多传感器信息可提供更加全面、准确的夜视目标和场景信息(图 1.1.1(a)),然而如何解决各传感器信息使用的充分性和多维信息提取的复杂性成为新的难题(图 1.1.1(b));并且由于环境干扰、场景复杂以及目标本身可能发生的姿态、残缺、模糊、遮挡变化和视角变换等问题,夜视场景准确理解、目标鲁棒检测识别难以获得理想效果(图 1.1.1(c))。因此需要引入新型技术思想和研究手段,以解决复杂场景下各波段夜视图像目标精确、高效认知问题,实现多维夜视数据的智能解析。

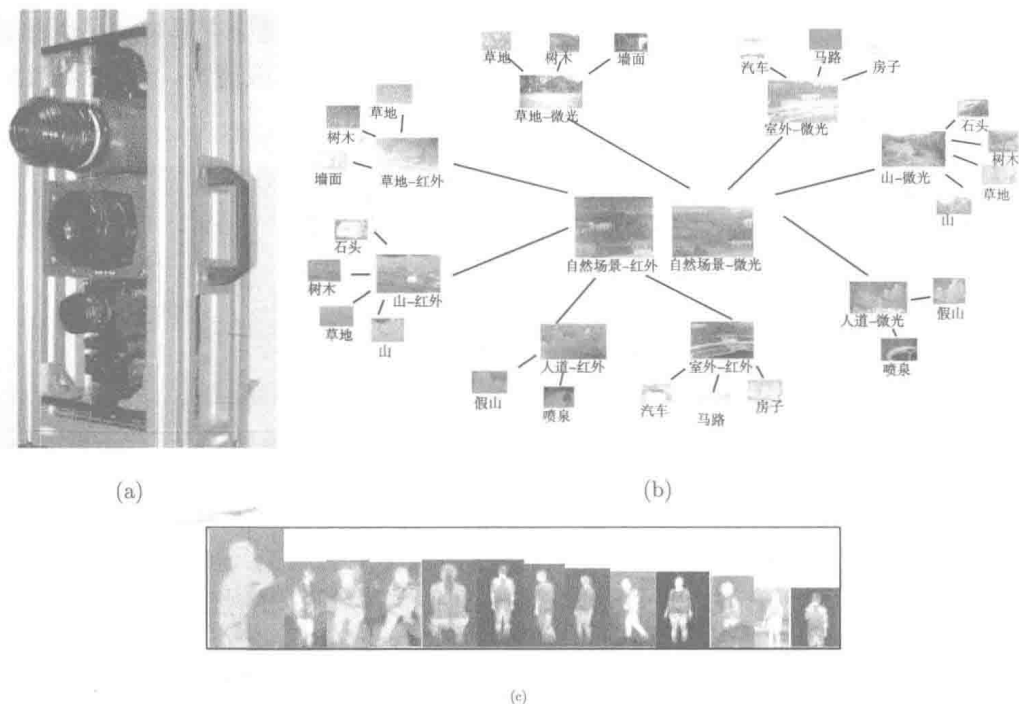


图 1.1.1 多光谱夜视系统和夜视目标、场景特性

(a) 多传感器系统; (b) 夜视图像的自然场景、目标分类; (c) 夜视目标的多样性

在众多的生物系统中人脑是最有效的生物智能系统,它具有感知、识别、学习、联想、记忆、推理等功能。据统计,人类感知的信息有 80%来自视觉,为此,研究生物的视知觉功能,解析其内在机理并计算实现,成为科学研究领域的一个重要内容。视知觉过程的研究有助于深入理解生物神经的工作机制和人类认知规律,

为模拟这些机制与规律、开发智能化夜视信息处理模式开拓新的途径,为提高多源夜视系统的智能化、增强夜视系统解决问题的能力提供新的思路^[1]。

本书的研究内容受启发于高效的生物视觉机理和高智能的认知计算方法,旨在结合夜视图像特性,实现基于仿生视觉建模的紫外、微光和红外等多光谱夜视图像智能感知。在视觉建模中,受生物视觉感知启发的计算模型包括特征提取、视觉增强、显著检测和目标识别等方面。从夜视信息处理的关键技术角度出发,多源夜视图像视觉认知研究内容包括:

(1) 对多光谱图像进行预处理,如微光图像降噪、红外图像增强。严重噪声干扰、低对比度影响下的图像修复增强有利于场景理解和信息提取,是夜视感知首要解决的一项重要技术。

(2) 对多光谱图像进行有效特征提取和显著分析,如显著轮廓提取、显著区域检测。复杂场景下的有效背景抑制、感兴趣区域检测和显著轮廓提取能够加强场景描述与理解精度,提供各目标候选区域以减少特征选择过程中的计算量,提高系统探测效率,从而成为夜视分析的一项关键技术。

(3) 进一步对潜在目标进行高层次视觉特征描述、识别和理解。具有抗干扰和泛化能力的夜视目标鲁棒检测和准确识别定位是目前夜视目标探测的技术难点。

(4) 在此基础上,设计高效算法架构,构建软硬件成像计算系统。有效集成多个核心处理模块,优化具有层次性、并行性和反馈性的计算模型,是实现多源夜视智能认知系统理论和技术应用的关键。

因此,本书将立足于提高多源夜视系统对非结构化视听觉感知信息的理解能力和多维异构信息的处理效率,克服多光谱夜视图像信息处理所面临的困难,借助心理学、神经生理学、生物学、计算机科学和数理科学的交叉优势,从图像降噪增强、特征提取、显著检测、目标识别定位、成像探测系统等多个方面,研究夜视基于仿生视觉的多源多光谱热点理论技术问题和新型认知计算模型方法。

1.2 夜视图像融合与视觉认知计算

通过目标、背景光谱特性研究和分析可知,它们在不同波段具有反射、辐射特性差异,夜视图像融合可充分利用各波段相互间的光谱信息差异性和相关性,实现多源数据整合、解析。图像信息融合由低到高分三个层次:底层处理是在严格配准的条件下,对各传感器输出的原始图像信号进行综合与分析,为高层处理提供丰富、精确、可靠的细节信息。中间层处理是对源图像进行预处理、特征提取和信息综合,旨在保留重要信息,以进行系统判决。高层处理在各波段图像完成了目标提取与分类之后,根据一定的准则以及不同决策的可信度做出具有容错能力的判别^[2]。从本质上看,融合的这种层次化思想与生物认知功能是契合一致的。

图像融合技术最早被应用于遥感图像的分析 and 处理中, 随其发展, 这一技术也逐渐被引入到夜视成像探测领域, 20 世纪 80 年代, 美国得克萨斯仪器公司将通用组件红外系统、焦平面阵列前视红外系统和三代微光夜视系统的视频信号进行融合, 取得了有益的结果^[3]。20 世纪 90 年代, 中国台湾研制出 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\mu\text{m}$ 双谱红外图像融合系统。进入 21 世纪, 美国开始将微光与非制冷红外双谱图像融合夜视镜 (ENVG)、数字图像融合武器/观察瞄准镜 (DIF/OS-5) 等正式列入装备研制计划需求。此外还有关于特征级、决策级融合等研究成果的报道^[4,5]。彩色融合效果如图 1.2.1 所示。

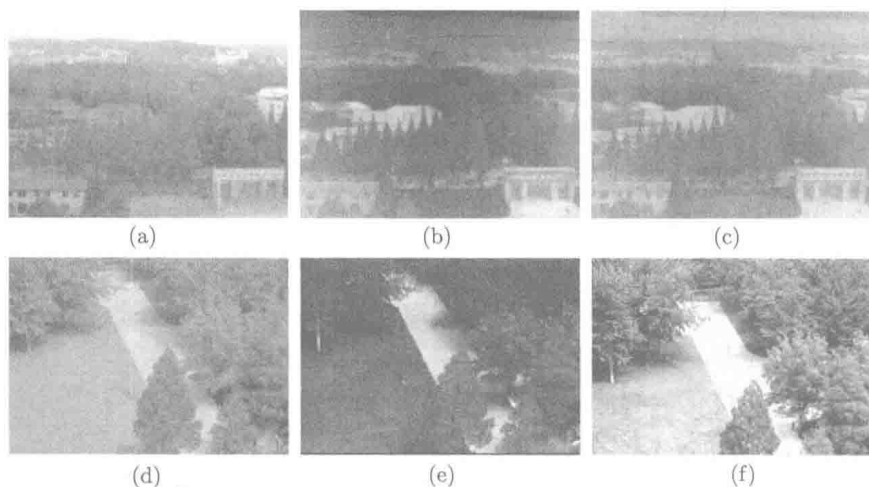


图 1.2.1 自然感彩色融合效果

(a) 长波条纹微光图像; (b) 短波条纹微光图像; (c) 融合彩显图像; (d) 可见光图像;
(e) 长波红外图像; (f) 彩色夜视图像

图像融合技术能够综合多波段、多光谱夜视信息, 有效提高多传感器夜视系统成像探测能力, 但也面临着新的挑战, 即多源夜视带来的信息复杂化和数据膨胀。一方面, 由于多光谱夜视图像的复杂多样, 现有的图像融合方法尚不能达到理想效果, 也就是说, 目前夜视系统中计算机对场景图像的处理与理解能力远逊于人类, 须有效模拟人类视觉的结构和功能, 改善现有夜视系统的感知计算水平。另一方面, 时—空—谱夜视数据维度扩张, 如何高效、充分提取利用多维信息中有价值的模式、规则等, 须对数据处理及知识获取的相关技术进行革新, 以保障系统工作的实时性。

当前诸多领域内图像处理分析方法已发生积极、有效的变革, 多种新型理论技术思想被提出, 其中视觉仿生和认知科学计算最具典型性。视觉认知计算模型或方法的思路来源于生物视觉机理。随着生物生理学、神经计算学和脑科学理论的发展, 国内外众多学者受生物学启发、针对不同应用环境建立了多种仿生机制视觉计算

模型。例如, Marr 提出源于生物视觉机理的视觉计算理论模型, 并将视觉过程归结为一个信息处理过程^[6]; Grigorescu 等的非经典感受野抑制 (nonclassical receptive field inhibition) 模型, 分析图像中心与周围的关系, 可用于轮廓检测^[7]; Li 等的递归网络模型神经动力学 (neural dynamics in a recurrent network model) 模型, 采用初级视觉皮层 (primary visual cortex) 的简单单元, 解决了将边缘段集成为轮廓的问题^[8]; Ilya 等提出一种视觉注意机制模型, 该模型分析人类视觉注意机制, 在视觉显著性检测方面的效果比较突出^[9]; Micheal 的计算知觉注意 (computational perceptual attention) 模型, 通过分析生物视觉的注意机制, 建立了表达和执行注意策略的计算感知注意模型^[10]; Wang 等的局部兴奋全局抑制振荡网络 (locally excitatory globally inhibitory oscillator network) 模型, 指出大脑皮层不同区域存在“同步振荡”的现象, 代表不同特征的神经元可以通过振荡时间上的同步而联系起来表示某一目标^[11,12]; Lecun 等提出一种神经卷积网络模型, 该模型拥有强大的仿生能力, 在目标识别方面展现较强的性能^[13]; Fukushima 的用于手写体字符识别的视觉神经网络模型 (neural network models for vision)^[14]。此外, 其他基于生物视觉认知机理的模型和方法也得到进一步发展^[15-17]。

目前, 国内外已对生物视觉功能和智能信息处理机制的计算模型和学习方法进行了大量的研究, 这些方法在视觉处理和智能感知方面与常规方法相比具有明显优势。然而针对多光谱夜视图像视觉计算和认知学习方面的研究工作较少, 基于生物学启发的计算机视觉建模研究可应用于夜视图像处理的各个关键技术领域, 为夜视技术发展注入新的活力, 同时也是对认知计算科学的延伸。

另外, 从研究方法和技术手段上认知计算技术与图像融合具有本质区别, 两者从不同角度解释图像信息, 具有一定的互补性; 但在同一图像处理层面上的功能又具有相似性, 两者相互结合可促进各层次理论模型和计算方法的完善。因此本书立足于团队在多光谱夜视图像融合技术上的一系列研究成果, 构建新型多源夜视认知计算模型, 拓展视觉感知机理在夜视层面的应用, 深化夜视信息的智能理解技术。

1.3 仿生视觉认知计算模型方法

视觉中枢神经系统对视网膜所传递的视觉信号进行处理, 主要包含侧膝体 (LGN) 处理和视皮层处理, 如图 1.3.1 所示。侧膝体是丘脑的一个感觉中继核团, 通过视觉神经元, 侧膝体与大部分视网膜的节细胞轴突触相连, 接收来自视网膜的电信号, 同时侧膝体与视皮层相连, 接收来自视皮层的反馈信息。因此, 侧膝体在视觉信息处理中起到中转站作用, 对来自视网膜的电信号进行一定的控制与处理, 然后传递给视皮层。

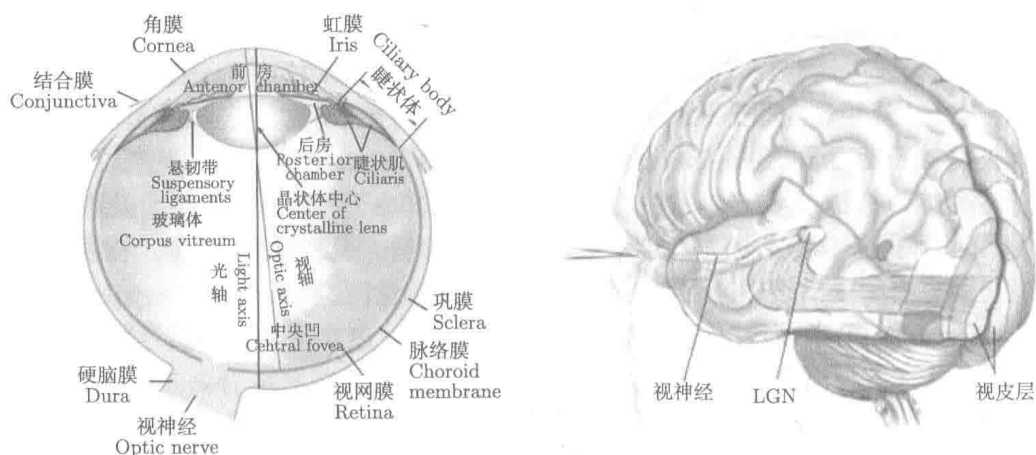


图 1.3.1 人眼解剖结构和视觉中枢神经系统生理结构图^[18]

视皮层负责视觉信息的高级处理^[19,20], 主要包括初级视皮层 (primary visual cortex) 和纹外皮层 (extrastriate cortex)。视皮层腹侧流涉及 V1、V2、V4 以及 IT 功能区, 它们分别对视觉信息的处理起到不同的作用: V1 区首先接收来自侧膝体的视觉信息并提取局部特征, 如提取图像的结构、色彩、运动等信息; 经处理后的信息将传递到 V2、V4 及 IT 区进行下一步处理, 如图像内容的模式匹配、识别、理解、记忆等。在视觉皮层中, 视觉信息通过不同视皮层通路进行信息加工处理, 获得视觉认知所需的特征, 提高信息处理效率, 如图 1.3.2 所示。

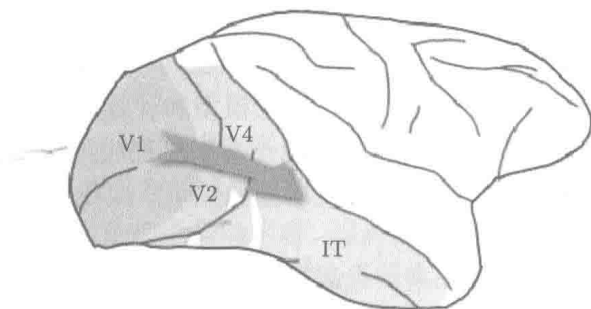


图 1.3.2 视觉皮层通路示意图

认知计算模型或方法的思路来源于生物视觉机理。图 1.3.3 是一种具有视皮层生理解剖功能特性的典型图像理解计算模型^[21]: 右边为视觉的不同层次特征表示, 由初级、中级特征以及高级的识别行为组成; 中间为模拟生物视觉的目标识别计算模型, 由 5 层不同的特征功能组成。下面结合视觉感知过程, 阐述几种认知计算模型, 它们是本书多源夜视图像理解的理论基础。