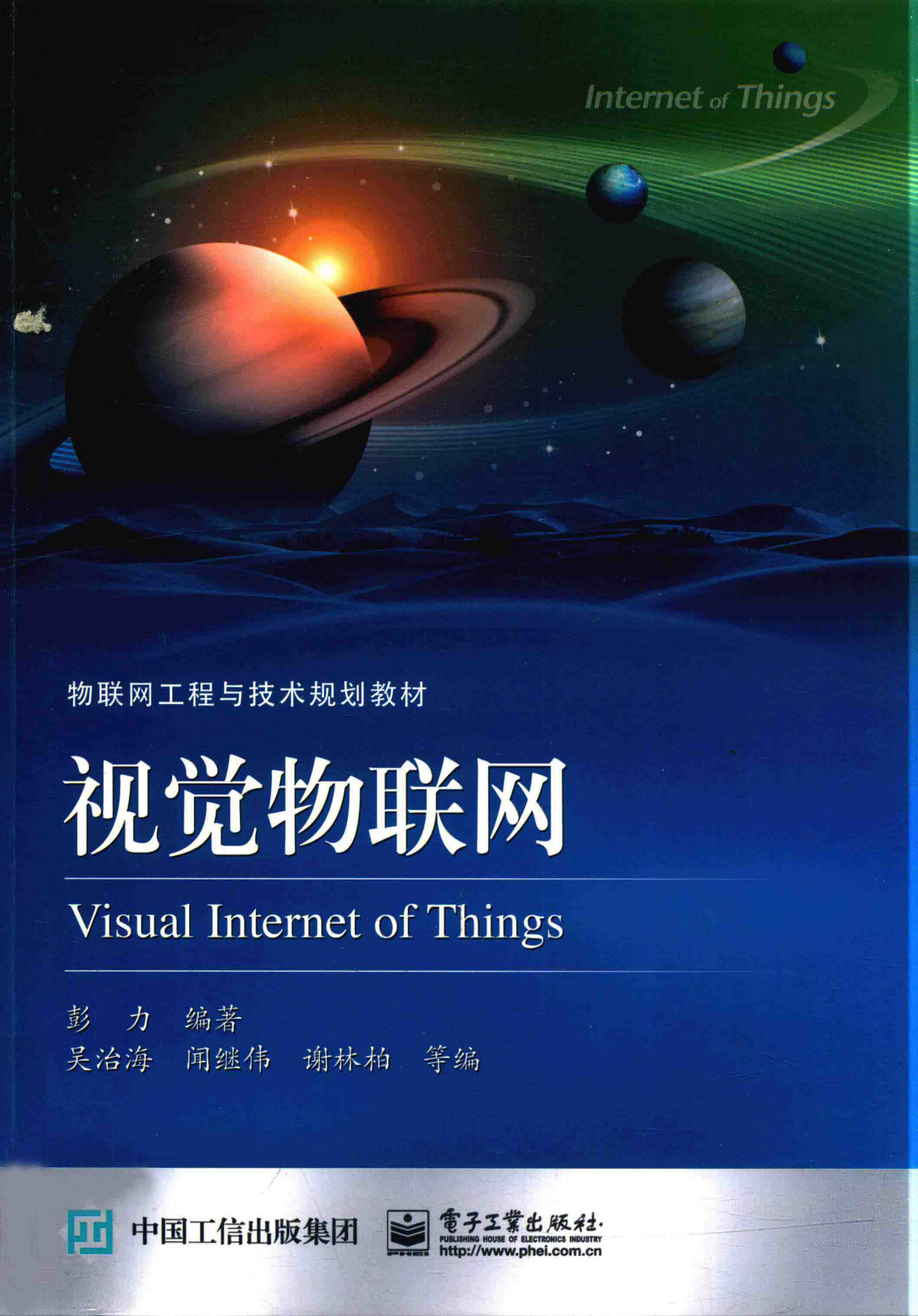




Internet of Things

物联网工程与技术规划教材

视觉物联网

Visual Internet of Things

彭 力 编著

吴治海 闻继伟 谢林柏 等编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

物联网工程与技术规划教材

视觉物联网

彭 力 编著

吴治海 闻继伟 谢林柏 等编



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

视觉物联网是物联网的重要分支,本书结合作者长期以来在该领域的研究工作,全面系统地阐述了当前视觉物联网研究领域中的关键技术问题、研究成果和应用技术。全书共分为 14 章,内容涉及视觉物联网技术基础、图像及图像的性质、图像的采集及压缩编码、视觉与人的识别技术、视觉与机器的技术、基于理解的图像识别技术、图像融合技术、视觉物联网覆盖与定位、视频监控技术、视频监控中的可伸缩视频大纲技术、视觉物联网的传输协议、视觉物联网的安全与隐私、基于达芬奇技术的视觉物联网平台设计、视觉物联网的实现与应用等。全书由浅入深,结合相关实例,详细介绍了视觉物联网相关理论、技术及应用。

本书既可作为物联网工程、模式识别、信息处理、通信工程等专业本科生和研究生教材,也可以供视觉物联网研究领域的相关科研工作者及工程技术人员参考。具有一定的学术价值及社会、经济效益。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

视觉物联网/彭力编著;吴治海等编. —北京:电子工业出版社,2016.3

ISBN 978-7-121-28313-0

I. ①视… II. ①彭… ②吴… III. ①互联网络—应用—高等学校—教材 ②智能技术—应用—高等学校—教材 IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 053325 号

策划编辑:任欢欢

责任编辑:任欢欢

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:448 千字

版 次:2016 年 3 月第 1 版

印 次:2016 年 3 月第 1 次印刷

定 价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着定位跟踪监控的广泛需求以及对采集数据高质量要求，物联网技术得到日益重视，而在多媒体信息中以视频图像信息所占容量最大，从人类获取信息的途径来看也是通过眼睛获取得最多，据统计约占 70%，可见，视觉物联网具有较大的研究和应用价值，也正成为物联网应用技术的核心技术。

我国安防行业飞速发展，除了市场需求的增加外，政府的大力推动，特别是城市报警与监控系统（“3111”工程）建设的完成及使用，加上全国各省标准化监控现场的带动，使全国进入了安防设施建设的高潮期，安防行业得到进一步高速发展。目前，监控摄像头已遍布很广，昼夜不停地监视和录像带来的海量数据，对网络、存储的压力到了必须解决的程度，因此研究视觉物联网关键技术和应用迫在眉睫。

本书结合作者长期以来在该领域的研究工作，全面系统地阐述了当前视觉物联网研究领域的关键技术问题、研究成果和应用技术。全书共分为 14 章，内容涉及视觉物联网技术基础、图像及图像的性质、图像的采集及压缩编码、视觉与人的识别技术、视觉与机器的技术、基于理解的图像识别技术、图像融合技术、视觉物联网覆盖与定位、视频监控技术、视频监控中的可伸缩视频大纲技术、视觉物联网的传输协议、视觉物联网的安全与隐私、基于达芬奇技术的视觉物联网平台设计、视觉物联网的实现与应用等。全书由浅入深，结合相关实例，详细介绍了视觉物联网相关理论、技术及应用。本书既可作为物联网工程、模式识别、信息处理、通信工程等专业本科生和研究生教材，也可以供视觉物联网研究领域的相关科研工作者及工程技术人员参考，具有一定的学术价值及社会、经济效益。

本书由江南大学物联网工程学院的彭力教授编著，江南大学吴治海博士、闻继伟博士、谢林柏博士、冯伟工程师、李稳高级工程师以及研究生陈容、周微、靳海伟、陈志勇、张继宽、王仁群、张磊、卢刚等参加了编写和平台开发工作，在此向他们表示感谢，同时感谢国家自然科学基金（60973095）的资助。

彭力

2015 年 12 月于无锡

目 录

第1章 视觉物联网技术基础	1
1.1 视觉物联网的技术与特点	1
1.1.1 视觉物联网	1
1.1.2 视觉物联网的研究内容	1
1.1.3 视觉物联网的特点	2
1.2 视觉物联网的基本组成结构	3
1.2.1 视觉物联网基本结构	3
1.2.2 视觉传感器节点结构	4
1.3 视觉物联网的关键技术	4
1.4 视觉物联网的研究现状及发展方向	6
1.4.1 视觉物联网的研究现状	6
1.4.2 视觉物联网发展方向	7
思考题	8
第2章 图像及图像的性质	9
2.1 人眼视觉	9
2.1.1 人眼视觉特性	9
2.1.2 HVS 模型	10
2.2 图像基本概念	11
2.2.1 图像及其特点	11
2.2.2 模拟图像与数字图像	12
2.2.3 数字图像类型	12
2.3 图像数字化	14
2.3.1 采样	14
2.3.2 量化	14
2.3.3 采样和量化参数的选择	15
2.3.4 图像数字化设备	15
2.4 图像的几种模型	16
2.4.1 计算颜色模型	16
2.4.2 视觉颜色模型	17
2.4.3 工业颜色模型	18
2.4.4 颜色模型选取原则	19
思考题	20
第3章 图像的采集及压缩编码	21
3.1 相机概述	21

3.2	光敏传感器	23
3.2.1	光敏传感器概述及原理	23
3.2.2	光电效应	24
3.2.3	光电转换元件	25
3.2.4	光敏传感器的应用	28
3.3	图像编码技术	29
3.3.1	图像编码概述	29
3.3.2	图像编码方法	30
3.3.3	图像编码新技术	33
3.3.4	图像编码评价	35
3.4	图像存储	35
3.4.1	BMP 图像存储格式	36
3.4.2	TIFF 图像存储格式	36
3.4.3	GIF 图像存储格式	36
3.4.4	PCX 图像存储格式	36
3.4.5	JPEG 图像存储格式	36
	思考题	37
第 4 章	视觉与人的识别技术	38
4.1	指纹识别算法与研究	38
4.1.1	指纹识别概述	38
4.1.2	图像预处理	38
4.1.3	特征提取与分类识别	40
4.1.4	指纹自动识别系统	43
4.2	人脸识别算法与研究	44
4.2.1	人脸识别概述	44
4.2.2	人脸识别发展历史及现状	44
4.2.3	人脸检测算法研究	45
4.2.4	人脸识别算法研究	47
	思考题	49
第 5 章	视觉与机器的技术	50
5.1	机械零件的检测	50
5.1.1	引言	50
5.1.2	机器视觉在工业领域的应用	50
5.1.3	机械零件检测系统结构	51
5.2	车辆的识别与跟踪	52
5.2.1	引言	52
5.2.2	系统结构	53
5.2.3	车辆提取	54

5.2.4	车辆分析	54
5.2.5	车辆跟踪	55
5.2.6	近视角跟踪算法	55
5.2.7	远视角跟踪算法	56
5.2.8	两种方法比较	56
	思考题	56
第 6 章	基于理解的图像识别技术	57
6.1	技术背景	57
6.2	基于场景相关信息的物体识别模型的研究	58
6.2.1	主要思想	58
6.2.2	总体模型	59
6.2.3	基于场景相关信息的物体识别方法的难点与展望	65
6.3	图形基元获取的一般方法的研究	65
6.3.1	基于颜色或灰度特征块的方法	66
6.3.2	基于端点连接的线段检测	68
6.3.3	区域支持法	69
6.3.4	消失点线段群检测	72
6.4	基于多边形近似的图形基元获取方法	75
6.4.1	传统的多边形近似方法	75
6.4.2	改进的基于全局特征的多边形近似方法	76
6.4.3	多边形近似中用误差阈值控制近似尺度的原理及其仿真	81
6.5	基于窗口矢量化圆弧基元的获取	82
6.5.1	基于窗口矢量化的数字曲线分割方法	82
6.5.2	基于 RBF 神经网络的分类	84
	思考题	87
第 7 章	图像融合技术	88
7.1	引言	88
7.2	图像融合总体设计流程	88
7.3	图像的预处理	89
7.4	数据融合的层次	91
7.5	融合规则	92
7.6	基于像素的图像融合	92
7.7	基于区域的图像融合	92
7.8	灰度调整技术	93
7.8.1	亮度一对比度传递技术	93
7.8.2	直方图规格化	94
7.9	图像融合评价	94
7.10	数据融合算法的分类	96

思考题	96
第 8 章 视觉物联网覆盖与定位	97
8.1 传感器的覆盖与定位问题	97
8.1.1 视觉传感器的覆盖问题	97
8.1.2 典型的覆盖算法分析	98
8.1.3 视觉传感器的定位问题	98
8.1.4 定位算法的分类	99
8.1.5 节点定位的一般计算方法	99
8.1.6 典型定位算法分析	101
8.2 动态视觉传感器网络中的点目标覆盖机制	103
8.2.1 问题描述	104
8.2.2 基于改进遗传算法的点目标覆盖增强算法	105
8.2.3 算法仿真	106
8.3 动态视觉传感器网络节点方向调度算法	108
8.3.1 方向可变的感知模型	108
8.3.2 基于贡献率模型的贪婪算法	108
8.3.3 仿真实验	112
8.4 动态视觉传感器网络中的多节点协作覆盖算法	115
8.4.1 问题描述	115
8.4.2 算法实现	115
8.4.3 仿真实验	117
思考题	119
第 9 章 视频监控技术	120
9.1 视频监控系统	120
9.1.1 引言	120
9.1.2 视频监控技术的发展	120
9.1.3 设计方案	121
9.2 背景建模与运动提取	124
9.2.1 引言	124
9.2.2 视频序列的特点	125
9.2.3 复杂背景下前景分割算法的研究进展	125
9.2.4 帧间差分法	126
9.2.5 混合高斯背景模型	127
9.2.6 光流法	132
思考题	135
第 10 章 视频监控中的可伸缩视频大纲技术	136
10.1 基于细节保留的视频大纲技术	136
10.1.1 传统视频大纲技术	136

10.1.2	基于细节保留的视频大纲技术	141
10.1.3	实验结果与分析	143
10.2	基于 ROI 的时域可伸缩编码技术	144
10.2.1	传统可伸缩编码技术	144
10.2.2	基于 ROI 的可伸缩编码	149
10.3	基于视频大纲的监控视频可伸缩编码	153
10.3.1	视频大纲的对象标志位设计与编码	153
10.3.2	视频大纲的密度可伸缩重建	158
10.3.3	基于视频大纲的监控视频可伸缩编码	160
10.3.4	实验结果与分析	161
10.4	可伸缩视频大纲系统	162
10.4.1	开发背景	162
10.4.2	系统框架	163
10.4.3	系统原型	164
	思考题	169
第 11 章	视觉物联网的传输协议	170
11.1	传输协议概述	170
11.2	传输层中的协议	171
11.3	TCP/IP 模型概述	175
11.4	用户数据报协议 UDP 模型概述	176
11.4.1	UDP 协议报头	176
11.4.2	用户数据报头格式	177
11.4.3	UDP 信息包	178
11.4.4	UDP 的伪首部	179
11.4.5	UDP 的封装与协议的分层	179
11.4.6	层次的划分及 UDP 校验和的计算	180
11.4.7	UDP 的多路复用、多路分解和端口	180
11.4.8	UDP 协议端口号的分配	181
11.5	Wi-Fi 协议	183
11.5.1	特点	185
11.5.2	特性	185
11.5.3	与非 Wi-Fi 网络的协作	187
11.5.4	自我管理的客户端	187
11.5.5	改善移动性	187
	思考题	188
第 12 章	视觉物联网的安全与隐私	189
12.1	概述	189
12.2	视觉物联网中的安全问题	189

12.2.1	通信安全需求	189
12.2.2	信息安全需求	190
12.3	视觉物联网中的威胁分析与对策	190
12.3.1	物理层的安全策略	190
12.3.2	链路层的安全策略	192
12.3.3	网络层的安全策略	193
12.3.4	传输层和应用层的安全策略	194
	思考题	194
第 13 章	基于达芬奇技术的视觉物联网平台设计	195
13.1	关键技术研究分析	195
13.1.1	达芬奇技术概述	195
13.1.2	TMS320DM6467T 介绍	200
13.1.3	课题系统方案总体设计	204
13.1.4	项目系统方案实施	206
13.1.5	项目系统移植开发	207
13.1.6	用户界面开发	209
13.1.7	系统性能测试	209
13.2	系统硬件设计研究与实现	210
13.2.1	系统存储器设计	211
13.2.2	视频接口设计	216
13.2.3	音频接口设计	220
13.2.4	电源系统设计	220
13.2.5	其他外围硬件设计	224
13.2.6	硬件性能基础测试	227
13.3	系统软件研究设计与实现	229
13.3.1	软件设计基础	229
13.3.2	系统音视频处理研究实现	232
13.3.3	系统相关驱动研究开发	236
13.3.4	系统文件修改移植研究	240
	思考题	243
第 14 章	视觉物联网的实现与应用	244
14.1	概述	244
14.2	视觉传感器在包装机械中的应用研究	245
14.3	视觉传感器及其在几何测量中应用的研究	248
14.4	智能视觉传感器技术在药品自动视觉检测的应用研究	250
14.5	视觉传感器在卷烟燃烧仪中的应用	252
14.5.1	仪器结构及工作原理	253
14.5.2	视觉传感器在燃烧仪中的应用分析	254

14.5.3 卷烟燃烧仪对比	256
14.6 视觉传感器在害虫检测系统中的应用	257
14.7 机器视觉在高速机器人分装系统中的应用	260
14.7.1 高速并联机器人分装系统	260
14.7.2 机器视觉定位算法	261
14.7.3 机器视觉软件系统设计	262
思考题	264
参考文献	265

第 1 章 视觉物联网技术基础

1.1 视觉物联网的技术与特点

1.1.1 视觉物联网

近年来具有感知能力、计算能力和通信能力的无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）吸引了学术界的广泛关注，微电子技术、计算机技术、无线通信技术、嵌入式计算技术和微机电系统（Micro-Electro-Mechanical System, MEMS）的发展，推动了无线传感器网络的飞速发展。

无线传感器网络是由密集的、低成本的、随机分布的集成有传感器、数据处理单元和短程无线通信模块的微小节点以自组织的方式，利用多跳通信传输构成的网络。已经布设的无线传感器网络一般可以测量标量数据如温度、压力、湿度或目标的位置等信息，大部分的网络对带宽和延时没有严格的要求。然而这种网络采集和处理的信息有限，不能满足更多应用的需求，这就迫切需要将信息量丰富的图像、视频等视觉信息引入到传感器网络中来，实现细粒度、精准信息的环境监测。

视觉物联网是一种新型的网络，它是在传统的传感器网络基础上加入了音频、视频、图像等多媒体信息的采集，从而能够更好地完成监测任务。网络中的视觉传感器节点（Vision Sensor Nodes）装有微型 CMOS 摄像头、微型麦克风和其他具有环境信息感知功能的传感器，它们一般布置在无人值守的区域完成监控或者监测任务。网络一般由视觉节点感知环境数据（包括普通的环境信息和多媒体信息），然后利用无线通信以多跳的方式将数据传输给汇聚中心，从而实现对监测区域的全面监控。

视觉物联网与传统的无线传感器相比，更多关注于图像/视频信息的采集和处理，在国民经济的各领域均有广阔的应用前景。

1.1.2 视觉物联网的研究内容

1999 年题为“传感器走向无线时代”这一关于无线传感器网络的代表性论述，揭开了无线传感器网络飞速发展的序幕。至今，传感器网络的研究已经经历 10 年的发展，目前已经积累了丰富的理论研究成果。但是正如前面所述，视觉物联网的研究不能完全等同于传统的传感器网络，它有其自己的特性。所以，其在基础理论、实现技术和实际应用等方面给研究者又提出了新的问题，而已有传统的无线传感器网络的算法并不能够解决这些问题。围绕这些问题，视觉物联网的研究领域主要包括以下几个方面。

（1）视觉物联网体系结构

由于视觉传感器节点中配置的 CMOS 摄像头在成本、信息处理能力、光学和机械特性上存在着差异，对于视觉传感器节点的选择需要根据具体的应用环境和应用需求而定，因此，一般可将视觉物联网分为同构和异构两种。

同构网络是由相同或者相似的节点和一个或多个基站构成的，它具有较低的复杂性，可

以用来构建大规模的传感器网络，同时也具备了传统无线传感器网络可扩展性好、支持无中心控制的自组织机构的特性。异构网络是由类型不同的视觉传感器节点构成的。和同构网络相比较，它的配置更加灵活，但是网络的复杂性也随之加大。基于此，为充分利用以上两种网络的优势，有学者提出了一种多层的网络体系结构，即每一层由同构网络构成，高层的节点不仅能够控制其相邻的子节点，同时还承担了基站和底层节点通信的任务。多层网络最主要的问题是如何解决不同层次间的通信问题。通信协议不仅要支持同层间信息的交换，还要支持不同层次间的数据交换。此外，还需要考虑如何利用最少的能耗保证服务质量。

（2）视觉传感器节点

目前，普遍使用的传感器节点（如加州伯克利分校开发的 Mica、Micaz 等系列节点）只能采集温度、湿度等标量环境信息，不能有效地支持视频媒体的采集和处理。因此，开发有效的视觉传感器节点一直是当前研究的重点。目前，视觉传感器节点搭建研究还处于实验室阶段，功耗大、体积大、成本高的问题仍然没被有效地解决。但是随着 SoC 技术和 CMOS 传感技术的发展，可以将处理器、无线通信模块，甚至视频传感器集成到一个芯片上，采用软硬件协同设计的方法降低节点的功耗、体积和成本。

（3）视觉物联网部署及覆盖控制

部署和覆盖控制是传感器网络的两个基本问题，反映了网络的覆盖质量和范围。视觉传感器节点具有有向感知的特性，采用的是有向感知模型，而传统的传感器网络节点的感知模型采用的是全向感知模型。因此，传统传感器网络的覆盖算法不能直接应用在视觉物联网中。依据新的有向感知模型，研究基于此模型的视觉物联网节点覆盖及调度算法，当有传感器节点发生故障或失效时，如何通过算法合理地调度节点的休眠或者工作，重新调整网络的布局以保证覆盖的质量，延长网络的生命周期，成为了视觉物联网领域的研究热点。

（4）视觉信息处理

视频、图像等多媒体数据流在网内的高效传输是视觉物联网实用化的基础。无论哪种类型的流媒体数据量都非常大，而由于能耗和成本的限制，视觉物联网的带宽资源和能耗非常有限，把节点采集的所有数据进行传输势必会造成网络的拥塞。所以，需要在对采集的数据进行传输前进行必要的数据处理，如数据的压缩编码、目标特征提取、信息融合等，以此减少数据传输的通信量，提高网络的数据处理和响应速度，从而增加网络的监控能力。此外，视觉信息处理还包括了多源信息处理和多源图像融合。

（5）服务质量保证

视觉物联网具有更丰富的感知能力，因此，能够提供的服务质量也更加丰富。相比传统的无线传感器网络，其特有的图像、视频等信息传送对时延、抖动等更加敏感，这就需要提供业务的服务质量（Quality of Service, QoS）保证。建立 QoS 保障体系，提供满足多种需求的 QoS 保障策略具有很强的应用价值，也是视觉物联网的一个重要研究课题。

1.1.3 视觉物联网的特点

视觉物联网是一种新型的监控网络，它除了具有和传统传感器网络相同的特性外，还具有其自身独特的特性。

（1）感知媒体丰富。视觉物联网中存在着视频、音频、图像和数值等多种数据类型，既包含流媒体信息，也包含一些标量数据信息。这些信息共同服务于监测任务，再现监测环境，以提供更全面的监测数据，完整准确地实现目标区域监测。

(2) 网络能力增强。视觉物联网中引入了大量的流媒体信息, 由于这些信息包含的数据量大, 因此视觉传感器节点在信息的采集、数据的处理和存储转发以及节点能量供应等网络能力方面都有了显著的增强。为了能使多媒体信息在网络中实时传输, 且不发生丢包或者网络拥塞等状况, 还必须增大视觉物联网的带宽。

(3) 处理任务复杂。在传统的无线传感器网络中, 采集的信息往往只是简单的环境信息, 数据结构简单, 数据量也很小, 对于处理器要求不高, 往往只需要做一些简单的运算就可以完成处理任务。但是这些信息不能够完整地反映监测环境的状况, 使用户不能全面地了解监测环境。而视觉物联网能够实现对图像、音频、视频等多媒体信息的采集。这些信息的数据结构非常复杂, 往往涉及多维数据, 因此需要进行复杂的处理运算, 并利用压缩编码、图像识别、图像重构、数据融合等多种智能处理算法实现对环境的监控任务。

1.2 视觉物联网的基本组成结构

1.2.1 视觉物联网基本结构

完整的视觉物联网一般由视觉传感器节点 (Vision Sensor Nodes)、汇聚节点 (Sink Nodes) 和监控中心 (Monitoring Center) 组成, 如图 1-1 所示。多个视觉节点随机部署在监测区域中, 节点将监测数据以多跳的方式传输给汇聚节点, 汇聚节点再通过 Internet 或者卫星把采集到的信息传送给监控中心, 再由监控中心对数据进行分析融合, 同时对网络进行配置和管理。

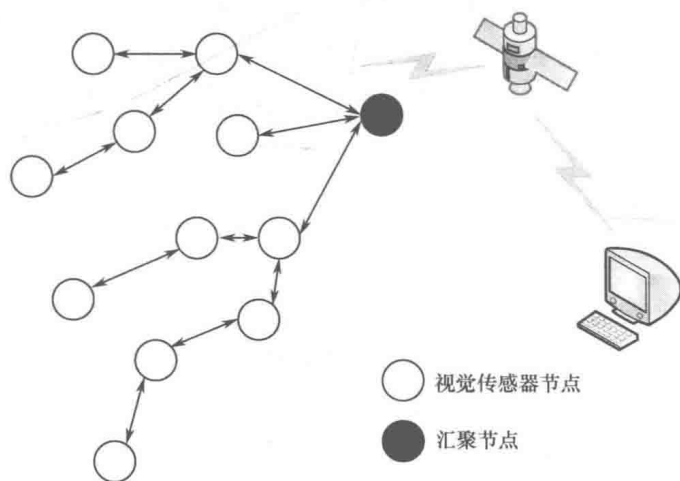


图 1-1 视觉物联网基本结构

视觉传感器节点: 它是视觉物联网的基础, 是集成有摄像头等多媒体传感器、数据采集处理单元和无线通信单元的微型嵌入式节点。它利用自身的多媒体传感器监测周围的环境信息, 利用数据处理单元进行简单的数据处理 (如压缩编码), 最后通过无线通信模块将数据传输给汇聚节点。同时, 它和传统的传感器节点一样, 也可以进行数据的多跳转发。

汇聚节点: 它既可以通过对普通的视觉传感器节点提供足够的能量和内存资源来实现, 也可以由没有监控能力, 只具有较强通信能力的网关充当。其负责视觉物联网和外部网络 (如 Internet) 的连接。视觉物联网中的节点受能量或者通信能力的限制, 无法直接和外部网络通信, 因此所有数据信息必须通过汇聚节点传输到外部网络, 同时监控中心对各个传感器节点

的监控命令也必须通过汇聚节点发布。

监控中心：它负责查询、采集和分析传感器节点传输来的数据信息，也可以向视觉物联网发布监控等任务，同时提供人机交互界面，便于监控人员的查询和管理。

1.2.2 视觉传感器节点结构

和传统的传感器节点相同，视觉传感器节点同样遵循低功耗、低成本、微型化的设计原则，一般节点由数据采集单元、数据处理单元、数据传输单元和能量管理单元构成，如图 1-2 所示。

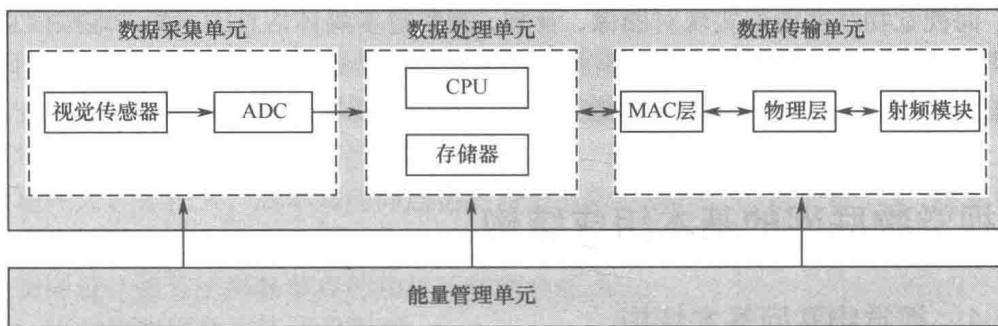


图 1-2 视觉传感器节点结构

数据采集单元中包括微型 CMOS 摄像头以及其他常用的标量信息（如温度、湿度等）传感器，主要负责监控区域里环境信息的采集和数据转换；**数据处理单元**主要负责对采集得到的数据进行处理（如压缩编码等），将数据存储到发送缓存区中，调用数据传输单元传输数据，同时也承担控制节点操作的任务；**数据传输单元**主要负责与其他节点进行无线通信，实现数据交换。**能量管理单元**主要负责整个节点各个单元能量的供应，一般采用微型电池供电。现在很多节点也利用太阳能、风能等新能源，以充分保证节点的能量。

1.3 视觉物联网的关键技术

视觉物联网涉及相关领域的多种技术，其关键技术如下所述。

（1）网络结构

因为视觉传感器的成本、信息处理能力、光学和机械特性的差异性，在视觉物联网中选择何种视觉传感器并不是一件简单的事情，主要依赖于应用需求和各种限制条件。因此，一般把视觉物联网分为两类：同构视觉物联网和异构视觉物联网。

同构视觉物联网由相同或相似的视觉传感器和一个或多个基站构成，因其具有较低的复杂性，因此适合组建大规模的视觉物联网，同时它也支持网络的可扩展性和无中心控制的自组织结构。潜在的应用包括栖息地监控，自然保护区可能有数以百计的相机传感器被用来监控野生动物并将数据传送给基站。

异构视觉物联网由不同的视觉传感器构成，也可能包含其他类型的传感器。相比同构视觉物联网，它提供更为灵活的配置方式，同时网络具有较高的复杂性，因此，采用多层的网络体系结构是一种合理的策略，多层的每一层由同构视觉物联网组成。我们可将多层网络结构视为垂直组织，底层的节点由相邻的高层节点控制，基站和底层节点的联系是通过高层节点来实现的。第一层节点由大量低成本、低功耗、低处理能力传感器组成。从第一层到上一

层,节点数量递减,功耗和处理能力递增。

多层视觉物联网的主要研究问题之一是怎样解决网络不同层次间的通信问题,通信协议需要支持垂直的层间传输和水平的层内合作;另一个研究问题是怎样用最小的能耗保证服务的质量(可靠性、延时等),延长网络的寿命。为此两个问题被解决的关键是:一是如何管理巨大的数据,并由传感器节点采集并传输给相关基站;二是处理可靠性和能耗的矛盾。

(2) 相机覆盖

在保证 QoS 的前提下覆盖区域的最大化是无线传感器网络研究的一个基本问题,覆盖最优化算法在部分传感器失效的情况下可以通过合理地选择休眠或唤醒节点来重新调整传感器的布局保证覆盖性能,延长网络的寿命。但是在视觉物联网中覆盖问题变得更加复杂,因为要求空间的三维覆盖。网络相机的覆盖模型可简化认为相机有固定焦距,安装在同一平面,并正在监视一个平行平面。相应的例子是由安装于天花板的相机监控地面,相机覆盖率为可视平面的一个圆。通过这种简化,无线传感器网络的覆盖优化算法可以应用于视觉物联网,然而,结果可能不是非常理想,这是因为无线传感器网络覆盖性和连通性是有紧密联系的。相比之下,在视觉物联网中它们是完全不同的问题,因为两个具有相同覆盖区域的相机可能彼此相隔很远,不像传统的标量传感器仅捕获邻近区域的数据。

Sora 和 Heinzelman 应用了一个无线传感器网络的路由协议 DAPR(Distributed Activation based on Predetermined Routes 的缩写)到视觉物联网。DAPR 是一个基于发送方向的先应式路由协议,对于某个目的节点,它只知道包的发送方向,选用该方向上的一个邻节点,利用每个节点存储的路由表来进行数据包传递。DAPR 协议决定了传感器应激活或休眠,以确保用最少的能耗成本保证覆盖面积。视觉物联网的覆盖优化问题由于相机捕获数据的方式和存在较多控制参量变得非常复杂,同时由于视觉物联网的能耗限制又要求算法的简单性,所以发展依赖于应用和网络尺寸的多种解决方案是可行之道。

(3) 视觉信息处理

传感器节点采集的图像/视频信息由于带宽和能耗的限制不可能全部传输到基站,有必要在传输前进行信息处理,但是视觉信息的处理是复杂的,回答如何处理以及在何地处理视觉信息不是简单的问题,这包括信息如何压缩、融合、滤波,在哪一层进行这些处理等。

视觉信息过滤技术是指把传感器采集的图像/视频根据应用需求转换成适合传输的紧凑格式,它包括去除场景中不变的背景,融合部分相似的图像等。如前所述,低功耗和处理能力是无线传感器网络的主要限制,大部分图像处理算法是为没有能量约束的微机设计的,视觉物联网需要低功耗的图像过滤技术。

图像压缩算法可有效减少传输的信息量,适合视觉物联网应用的一类图像编码是多尺度编码,它可以根据不同的带宽产生不同品质的编码流。基于小波的 SPIHT(多级树集合分裂, Set Partitioning in Hierarchical Trees 的缩写)和 JPEG 2000 是较为流行的多尺度编码。多描述编码(MDC, Multiple Description Coding)是应用于分组网络的一种编码方法。多描述编码假设在信源和信宿之间有多个信道,各个信道同时出错的概率非常低,通过生成多个同等重要、可独立解码的关于编码的描述,从而保证在其中一些描述丢失的时候,仍可以得到可接受的图像质量,而随着描述的增加,图像质量也随之提高。同时,它也适合应用在视觉物联网中。

传统的图像/视频编解码算法,包括以上提及的算法,主要是为广播应用(一对多)开发的,它们的解码器相对简单,编码则相对复杂,而在视觉物联网中,出现的是多对一的情况,这就要求编码算法也比较简单,开发新型的编解码算法是视觉物联网的主要课题之一。

分布式源编码 (Distributed Source Coding, 简称为 DSC) 是将编码分散到大量不同的传感器中, 在基站实现统一解码生成图像, 这样每个传感器有较低的计算负荷。近来, 在这些理论和视觉物联网应用的推动下, DSC 的研究发展很快。但由于缺乏表示图像空间相关的模型等障碍, 开发实用的分布式编码还有很长的路要走。

(4) 通信

超宽带 (Ultra Wide Band, 简称为 UWB) 是一种新型的无线通信技术, 通过对具有很陡上升和下降时间的冲激脉冲进行直接调制, 使信号具有 GHz 量级的带宽。UWB 技术因具有低功耗、高速率的特点, 成为视觉物联网的主要传输技术。现有两种 UWB 技术: 一种为跳时脉冲无线电超宽带 (Time-Hopping Impulse Radio-UWB, 简称为 TH-IR-UWB) 技术, 它通过发送极短脉冲来传递信息, 伪随机跳时序列 (Time-Hopping Sequence, 简称为 THS) 提供多址接入方式; 另一种为多载波超宽带 (Multi-Carrier Ultra-Wide-Band, 简称为 MC-UWB) 技术, 它在同一时间通过多个载波实现数据高速传输。MC-UWB 通过合理选择载波, 具有良好的抗干扰能力, 但实现 MC-UWB 要有高速的 FFT (快速傅氏变换, Fast Fourier Transformation 的缩写) 处理能力和高效放大器, 这就使得收发器的设计非常复杂, 不适合在低功耗的视觉物联网节点中采用。TH-IR-UWB 提供了较为灵活的实现方式, 同时信号具有低截获概率等优点, 使之成为视觉物联网的主要传输技术。

虽然 UWB 技术近来发展十分迅速, 但视觉物联网中的 UWB 设备仍有如下问题需要解决:

① 如何设计一个基于 UWB 的具有灵活 QoS 的交互层通信体系;

② 如何发展一个分析模型来量化比较 UWB 的各个参量, 以在高速传输与低功耗之间寻求合理的平衡;

③ 如何将 UWB 技术与传统的无线传输技术相结合, 如利用 UWB 信号的波束成形来增强频谱效率。

(5) 安全

随着无线传感器网络在军事和安全领域的应用, 网络安全问题吸引了大量关注, 信息编码、水印技术、加密算法都广泛应用以增强无线通信的安全性。视觉物联网要求较强的节点处理能力以减少网络的流量, 这就要求在汇聚节点信息包被完整解码处理后被重新组合, 安全算法要有较低的计算复杂度以满足实时应用的需求, 因此要寻求允许的图像延时与高阶安全算法之间的合理折中。除此之外, 安全算法也必须考虑一些物理层的限制, 如电池的电量等。

基于动态系统的分布式的图像认证方法是第一种实用的视觉物联网图像认证系统, 可有效识别恶意攻击, 对传输噪声和无意损害具有良好的顽健性。总的来说, 视觉物联网的安全问题的研究才刚刚起步, 如何在网络带宽及节点资源有限、部署区域物理安全无法保证、节点位置先验知识缺乏的情况下保证视觉信息的机密性、真实性、完整性、时效性、可靠性, 还有待更加深入地探讨。

1.4 视觉物联网的研究现状及发展方向

1.4.1 视觉物联网的研究现状

由于视觉物联网的巨大应用价值, 它已经引起了国内外学术界的高度重视和关注。视觉物联网最早由 Obraczka 等人提出, 从此拉开了视觉物联网研究的序幕。2003 年, 一些学者