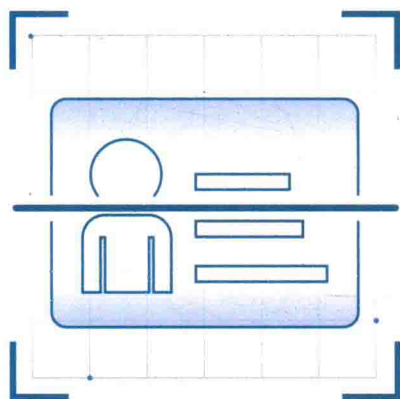


通过OpenCV+TensorFlow，系统掌握图像识别技术

- 深入讲解反馈神经网络和卷积神经网络技术体系
- 结合TensorFlow+OpenCV实际编程，掌握图像处理方法和技巧
- 获得使用TensorFlow深度学习技术进行图像识别的能力

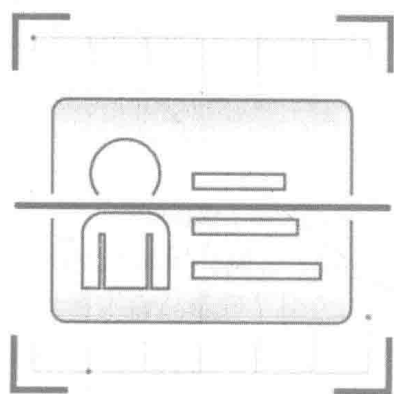


OpenCV+TensorFlow 深度学习与计算机视觉实战

王晓华 著

清华大学出版社





OpenCV+TensorFlow

深度学习与计算机视觉实战

王晓华 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书旨在掌握深度学习基本知识和特性的基础上,培养使用 TensorFlow+OpenCV 进行实际编程以解决图像处理相关问题的能力。全书力求通过通俗易懂的语言和详细的程序分析,介绍 TensorFlow 的基本用法、高级模型设计和对应的程序编写。

本书共 13 章,内容包括计算机视觉与深度学习的关系、Python 的安装和使用、Python 数据处理及可视化、机器学习的理论和算法、计算机视觉处理库 OpenCV、OpenCV 图像处理实战、TensorFlow 基本数据结构和使用、TensorFlow 数据集的创建与读取、BP 神经网络、反馈神经网络、卷积神经网络等。本书强调理论联系实际,着重介绍 TensorFlow+OpenCV 解决图像识别的应用,提供大量数据集供读者使用,并以代码的形式实现深度学习模型实例供读者参考。

本书既可作为学习人工神经网络、深度学习、TensorFlow 程序设计以及图像处理等相关内容的程序设计人员的自学用书,也可作为高等院校和培训学校相关专业的教材使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

OpenCV+TensorFlow 深度学习与计算机视觉实战 / 王晓华著. —北京:清华大学出版社, 2019
ISBN 978-7-302-51842-6

I. ①O… II. ①王… III. ①图象处理软件—程序设计 IV. ①TP391.413

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 277343 号

责任编辑:夏毓彦

封面设计:王翔

责任校对:闫秀华

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:190mm×260mm

印 张:17.5

字 数:448 千字

版 次:2019 年 2 月第 1 版

印 次:2019 年 2 月第 1 次印刷

定 价:69.00 元

产品编号:081471-01

前言

我们处于一个变革的时代！

给定一个物体，让一个3岁的小孩描述这个物体是什么似乎是一件非常简单的事情。然而将同样的东西放在计算机面前，让它描述自己看到了什么，这在不久以前还是一件不可能的事。

让计算机学会“看”东西是一个专门的学科——计算机视觉正在做的工作。借助于人工神经网络和深度学习的发展，近年来计算机视觉在研究上取得了重大的突破。通过模拟生物视觉所构建的卷积神经网络模型在图像识别和分类上取得了非常好的效果。

而今，借助于深度学习技术的发展，使用人工智能去处理常规劳动，理解语音语义，帮助医学诊断和支持基础科研工作，这些曾经是梦想的东西似乎都在眼前。

写作本书的原因

TensorFlow 作为最新的、应用范围最为广泛的深度学习开源框架引起了广泛的关注，吸引了大量程序设计和开发人员进行相关内容的学习与开发。掌握 TensorFlow 编程基本技能的程序设计人员成为当前各组织和单位热切追求的最热门人才之一。他们的主要工作就是利用获得的数据集设计不同的人神经模型，利用人工神经网络强大的学习能力提取和挖掘数据集中包含的潜在信息，编写相应的 TensorFlow 程序对数据进行处理，对其价值进行进一步开发，为商业机会的获取、管理模式创新、决策的制定提供相应的支持。随着越来越多的组织、单位对深度学习应用的重视，高层次的 TensorFlow 程序设计人员将会成为就业市场上抢手的人才。

与其他应用框架不同的是，TensorFlow 并不是一个简单的编程框架，深度学习也不是一个简单的名词，需要相关研究人员对隐藏在其代码背后的理论进行系统学习、掌握一定的数学知识和理论基础。本书的作者具有长期一线理科理论教学经验，可以将其中的理论知识以非常浅显易懂的语言描述出来。这一点是市面上相关书籍无法比拟的。

本书是为了满足广大 TensorFlow 程序设计和开发人员学习最新 TensorFlow 程序代码的要求而出版的。书中对涉及深度学习的结构与编程代码做了循序渐进的介绍与说明,以解决实际图像处理为依托,从理论开始介绍 TensorFlow+OpenCV 程序设计模式,多角度、多方面地对其中的原理和实现提供翔实的分析,同时结合实际案例编写的应用程序设计可以使读者从开发者的层面掌握 TensorFlow 程序的设计方法和技巧、为开发出更强大的图像处理应用打下扎实的基础。

本书的优势

(1) 本书偏重于介绍使用卷积神经网络及其相关变化的模型,在 TensorFlow 框架上进行图像特征提取、图像识别以及具体应用,这是目前已出版图书中鲜有涉及的。

(2) 本书并非枯燥的理论讲解,而是作者阅读和参考了大量最新文献做出的归纳总结,在这点上也与其他编程书籍有本质区别。书中的例子都是来自于现实世界中图像分辨和特征的竞赛优胜模型,通过介绍这些例子可以使读者更深一步地了解 and 掌握其内在的算法和本质。

(3) 本书作者有长期研究生和本科教学经验,通过通俗易懂的语言对全部内容进行讲解,深入浅出地介绍反馈神经网络和卷积神经网络理论体系的全部知识点,并在程序编写时使用官方推荐的 TensorFlow 最新框架进行程序设计,帮助读者更好地使用最新的模型框架、理解和掌握 TensorFlow 程序设计的精妙之处。

(4) 掌握和使用深度学习的人才应该在掌握基本知识和理论的基础上,重视实际应用程序开发能力和解决问题能力的培养。因此,本书结合作者在实际工作中遇到的实际案例进行分析,抽象化核心模型并给出具体解决方案,并提供了全部程序例题的相应代码以供读者学习。

本书的内容

本书共分为 13 章,所有代码均采用 Python 语言(TensorFlow 框架推荐使用的语言)编写。

第 1 章介绍计算机视觉与深度学习的关系,旨在说明使用深度学习和人工智能实现计算机视觉是未来的发展方向,也是必然趋势。

第 2 章介绍 Python 3.6+Tensorflow 1.9+OpenCV 3.4.2 的环境搭建。Python 语言是易用性非常强的语言,可以很方便地将公式和愿景以代码的形式表达出来,而无须学习过多的编程知识。本章还介绍 Python 专用类库 threading 的使用。这个类库虽不常见,但会为后文的数据读取和 TensorFlow 专用格式的生成打下基础。

第 3 章主要介绍 Python 语言的使用。通过介绍和实现不同的 Python 类库,帮助读者强化 Python 的编程能力、学习相应类库。这些都是在后文中反复使用的内容。同时借用掌握的知识学习数据的可视化展示能力(在数据分析中是一项基本技能,具有非常重要的作用)。

第 4 章全面介绍机器学习的基本分类、算法和理论基础,以及不同算法(例如回归算法和

决策树算法)的具体实现和应用。这些是深度学习的基础理论部分,向读者透彻而准确地展示深度学习的结构与应用,为后文进一步掌握深度学习在计算机视觉中的应用打下扎实的基础。

第5~6章是对OpenCV类库(Python中专门用于图像处理的类库)使用方法的介绍。本书以图像处理为重点,因此对图像数据的读取、编辑以及加工是重中之重。通过基础讲解和进阶介绍,读者可以掌握这个重要类库的使用,学会对图像的裁剪、变换和平移的代码编写。

第7~8章是TensorFlow的入门基础,通过一个娱乐性质的网站向读者介绍TensorFlow的基本应用,用图形图像的方式演示神经网络进行类别分类的拟合过程,在娱乐的同时了解其背后的技术。

第9章是本书的一个重点,也是神经网络的基础内容。本章的反馈算法是解决神经网络计算量过大的里程碑算法。作者使用通俗易懂的语言,通过详细严谨的讲解,对这个算法进行了介绍,并且通过独立编写代码的形式,为读者实现神经网络中最重要的算法。本章的内容看起来不多,但是非常重要。

第10章对TensorFlow的数据输入输出做了详细的介绍。从读取CSV文件开始,到教会读者制作专用的TensorFlow数据格式TFRecord,这是目前市面上的书籍鲜有涉及的。对于使用TensorFlow框架进行程序编写,数据的准备和规范化是重中之重,因此本章也是较为重要的一个章节。

第11~12章是应用卷积神经网络在TensorFlow框架上进行学习的一个基础教程,经过前面章节的铺垫和介绍,采用基本理论——卷积神经网络进行手写体的辨识是深度学习最基本的技能,也是非常重要的一个学习基础。并且在程序编写的过程中,作者向读者展示了参数调整对模型测试结果的重要作用,这也是目前市面上相关书籍没有涉及的内容,非常重要。

第13章通过一个完整的例子演示使用卷积神经网络进行图像识别的流程。例子来自于ImageNet图像识别竞赛,所采用的模型也是比赛中获得准确率最高的模型。通过对项目每一步的详细分析,手把手地教会读者使用卷积神经网络进行图像识别。

除此之外,全书对于目前图像识别最流行和取得最好成绩的深度学习模型做了介绍,这些都是目前深度学习的热点和研究重点。

本书的特点

- 本书不是纯粹的理论知识介绍,也不是高深技术研讨,完全是从实践应用出发,用最简单的、典型的示例引申出核心知识,最后还指出了通往“高精尖”进一步深入学习的道路。
- 本书没有深入介绍某一个知识块,而是全面介绍TensorFlow+OpenCV涉及的图像处理的基本结构和上层程序设计方法,借此能够系统综合性地掌握深度学习的全貌,使读者在学习过程中不至于迷失方向。
- 本书在写作上浅显易懂,没有深奥的数学知识,采用较为形象的形式,用大量图像例

子描述应用的理论知识，让读者在轻松愉悦的阅读下掌握相关内容。

- 本书旨在引导读者进行更多技术上的创新，每章都会用示例描述的形式帮助读者更好地理解本章的学习内容。
- 本书代码遵循重构原理，避免代码污染，真心希望读者能写出优秀、简洁、可维护的代码。

示例代码下载

本书配套的示例代码下载地址可以通过扫描右边二维码获取。

如果下载有问题，或者对本书有疑问和建议，请联系 booksaga@163.com，邮件主题为“OpenCV+TensorFlow”。



本书适合人群

本书适合于学习人工神经网络、深度学习、计算机视觉以及 TensorFlow 程序设计等相关技术的程序设计人员阅读，也可以作为高等院校和培训学校相关专业的教材。建议在学习本书的过程中，理论联系实际，独立进行一些代码编写，采取开放式的实验方法，即读者自行准备实验数据和实验环境，解决实际问题。

本书作者

本书作者现为高校计算机专业副教授，担负数据挖掘、Java 程序设计、数据结构等多项本科及研究生课程，研究方向为数据仓库与数据挖掘、人工智能、机器学习，在研和参研多项科研项目。本书在写作过程中得到了家人的大力支持，在此对他们表示感谢。

以尽致的文字、严密的逻辑、合时的题材、丰富的内涵服务社会，是作者编写本书的宗旨。但因认识局限，不足之处还望大家多多指正。

王晓华

2018年10月

目 录

第 1 章 计算机视觉与深度学习	1
1.1 计算机视觉与深度学习的关系	1
1.1.1 人类视觉神经的启迪	2
1.1.2 计算机视觉的难点与人工神经网络	3
1.1.3 应用深度学习解决计算机视觉问题	4
1.2 计算机视觉学习的基础与研究方向	5
1.2.1 学习计算机视觉结构图	5
1.2.2 计算机视觉的学习方式和未来趋势	6
1.3 本章小结	7
第 2 章 Python 的安装与使用	8
2.1 Python 基本安装和用法	8
2.1.1 Anaconda 的下载与安装	9
2.1.2 Python 编译器 PyCharm 的安装	12
2.1.3 使用 Python 计算 softmax 函数	15
2.2 TensorFlow 类库的下载与安装（基于 CPU 模式）	16
2.3 TensorFlow 类库的下载与安装（基于 GPU 模式）	18
2.3.1 CUDA 配置	18
2.3.2 cuDNN 配置	21
2.4 OpenCV 类库的下载与安装	22
2.5 Python 常用类库中的 threading	24

2.5.1	threading 库的使用	25
2.5.2	threading 模块中最重要的 Thread 类	25
2.5.3	threading 中的 Lock 类	26
2.5.4	threading 中的 join 类	27
2.6	本章小结	28
第 3 章	Python 数据处理及可视化	29
3.1	从小例子起步——NumPy 的初步使用	29
3.1.1	数据的矩阵化	29
3.1.2	数据分析	31
3.1.3	基于统计分析的数据处理	32
3.2	图形化数据处理——Matplotlib 包的使用	33
3.2.1	差异的可视化	33
3.2.2	坐标图的展示	34
3.2.3	玩个大的数据集	36
3.3	深度学习理论方法——相似度计算	38
3.3.1	基于欧几里得距离的相似度计算	38
3.3.2	基于余弦角度的相似度计算	39
3.3.3	欧几里得相似度与余弦相似度的比较	40
3.4	数据的统计学可视化展示	41
3.4.1	数据的四分位	41
3.4.2	数据的四分位示例	42
3.4.3	数据的标准化	46
3.4.4	数据的平行化处理	47
3.4.5	热点图-属性相关性检测	49
3.5	Python 数据分析与可视化实战——某地降水的关系处理	50
3.5.1	不同年份的相同月份统计	50
3.5.2	不同月份之间的增减程度比较	52
3.5.3	每月降水是否相关	53
3.6	本章小结	54

第 4 章 深度学习的理论基础——机器学习	55
4.1 机器学习基本分类	55
4.1.1 基于学科的分类	55
4.1.2 基于学习模式的分类	56
4.1.3 基于应用领域的分类	56
4.2 机器学习基本算法	57
4.2.1 机器学习的算法流程	57
4.2.2 基本算法的分类	58
4.3 算法的理论基础	60
4.3.1 小学生的故事——求圆的面积	60
4.3.2 机器学习基础理论——函数逼近	61
4.4 回归算法	62
4.4.1 函数逼近经典算法——线性回归算法	62
4.4.2 线性回归的姐妹——逻辑回归	64
4.5 机器学习的其他算法——决策树	65
4.5.1 水晶球的秘密	65
4.5.2 决策树的算法基础——信息熵	66
4.5.3 决策树的算法基础——ID3 算法	67
4.6 本章小结	68
第 5 章 计算机视觉处理库 OpenCV	70
5.1 认识 OpenCV	70
5.1.1 OpenCV 的结构	70
5.1.2 从雪花电视谈起——在 Python 中使用 OpenCV	74
5.2 OpenCV 基本的图片读取	75
5.2.1 基本的图片存储格式	76
5.2.2 图像的读取与存储	78
5.2.3 图像的转换	78
5.2.4 使用 NumPy 模块对图像进行编辑	80
5.3 OpenCV 的卷积核处理	81
5.3.1 计算机视觉的三种不同色彩空间	81

5.3.2	卷积核与图像特征提取	82
5.3.3	卷积核进阶	84
5.4	本章小结	85
第 6 章	OpenCV 图像处理实战	86
6.1	图片的自由缩放以及边缘裁剪	86
6.1.1	图像的扩缩裁挖	86
6.1.2	图像色调的调整	87
6.1.3	图像的旋转、平移和翻转	89
6.2	使用 OpenCV 扩大图像数据库	90
6.2.1	图像的随机裁剪	90
6.2.2	图像的随机旋转变换	91
6.2.3	图像色彩的随机变换	92
6.2.4	对鼠标的监控	93
6.3	本章小结	94
第 7 章	Let's play TensorFlow	95
7.1	TensorFlow 游乐场	95
7.1.1	I want to play a game	95
7.1.2	TensorFlow 游乐场背后的故事	99
7.1.3	如何训练神经网络	101
7.2	Hello TensorFlow	102
7.2.1	TensorFlow 名称的解释	102
7.2.2	TensorFlow 基本概念	103
7.2.3	TensorFlow 基本架构	105
7.3	本章小结	106
第 8 章	Hello TensorFlow, 从 0 到 1	107
8.1	TensorFlow 的安装	107
8.2	TensorFlow 常量、变量和数据类型	109
8.3	TensorFlow 矩阵计算	114
8.4	Hello TensorFlow	115

8.5 本章小结	120
第 9 章 TensorFlow 重要算法基础	122
9.1 BP 神经网络简介	122
9.2 BP 神经网络两个基础算法详解	124
9.2.1 最小二乘法详解	125
9.2.2 道士下山的故事——梯度下降算法	127
9.3 TensorFlow 实战——房屋价格的计算	130
9.3.1 数据收集	130
9.3.2 模型的建立与计算	131
9.3.3 TensorFlow 程序设计	133
9.4 反馈神经网络反向传播算法介绍	135
9.4.1 深度学习基础	135
9.4.2 链式求导法则	136
9.4.3 反馈神经网络原理与公式推导	138
9.4.4 反馈神经网络原理的激活函数	143
9.4.5 反馈神经网络原理的 Python 实现	144
9.5 本章小结	150
第 10 章 TensorFlow 数据的生成与读取	151
10.1 TensorFlow 的队列	151
10.1.1 队列的创建	151
10.1.2 线程同步与停止	155
10.1.3 队列中数据的读取	156
10.2 CSV 文件的创建与读取	157
10.2.1 CSV 文件的创建	157
10.2.2 CSV 文件的读取	158
10.3 TensorFlow 文件的创建与读取	160
10.3.1 TFRecords 文件的创建	160
10.3.2 TFRecords 文件的读取	163
10.3.3 图片文件的创建与读取	164
10.4 本章小结	169

第 11 章 卷积神经网络的原理	170
11.1 卷积运算基本概念	170
11.1.1 卷积运算	171
11.1.2 TensorFlow 中卷积函数实现详解	172
11.1.3 使用卷积函数对图像感兴趣区域进行标注	176
11.1.4 池化运算	178
11.1.5 使用池化运算加强卷积特征提取	180
11.2 卷积神经网络的结构详解	181
11.2.1 卷积神经网络原理	181
11.2.2 卷积神经网络的应用实例——LeNet5 网络结构	184
11.2.3 卷积神经网络的训练	186
11.3 TensorFlow 实现 LeNet 实例	186
11.3.1 LeNet 模型分解	187
11.3.2 使用 ReLU 激活函数替代 Sigmoid	191
11.3.3 程序的重构——模块化设计	195
11.3.4 卷积核和隐藏层参数的修改	199
11.4 本章小结	205
第 12 章 卷积神经网络公式的推导与应用	206
12.1 反馈神经网络算法	206
12.1.1 经典反馈神经网络正向与反向传播公式推导	206
12.1.2 卷积神经网络正向与反向传播公式推导	209
12.2 使用卷积神经网络分辨 CIFAR-10 数据集	217
12.2.1 CIFAR-10 数据集下载与介绍	217
12.2.2 CIFAR-10 模型的构建与数据处理	219
12.2.3 CIFAR-10 模型的细节描述与参数重构	228
12.3 本章小结	229
第 13 章 猫狗大战——实战 AlexNet 图像识别	230
13.1 AlexNet 简介	231
13.1.1 AlexNet 模型解读	231

13.1.2 AlexNet 程序的实现.....	234
13.2 实战猫狗大战——AlexNet 模型	239
13.2.1 数据的收集与处理	240
13.2.2 模型的训练与存储	244
13.2.3 使用训练过的模型预测图片	250
13.2.4 使用 Batch_Normalization 正则化处理数据集.....	257
13.3 本章小结.....	266

第 1 章

◀ 计算机视觉与深度学习 ▶

当作者还是一个懵懂的小孩的时候，电视台播放的一部美国动画片《变形金刚》（如图 1-1 所示）激起了作者对机器人的浓厚兴趣。一句“汽车人，变形，出发！”不光是孩子，甚至于连陪同观看的大人们也会被那些懂幽默、会调侃，充满着正义、勇敢、智慧、热情、所向无敌的变形金刚人物所吸引。



图 1-1 变形金刚——霸天虎

长久以来，机器人和人工智能主题的电影、电视剧和动画片一直备受观众所喜爱，人类对未来的无尽的想象力和炫目的特技效果构筑了一个又一个精彩的未来世界，令人陶醉。但是回归到现实，计算机科学家和工程技术人员的创造和设计能力却远远赶不上电影编剧们的想象力。动画片终究是动画片，变形金刚也不存在于这个现实世界中，要研发出一个像霸天虎一样能思考、看得到周围景物、听得懂人类语言并和人类进行流利对话的机器人，这条路还很漫长。

1.1 计算机视觉与深度学习的关系

长期以来，让计算机能看会听可以说是计算机科学家孜孜不倦的追求目标，这个目标中最基础的就是让计算机能够看见这个世界，赋予计算机一双和人类一样的眼睛，让它们也能看懂这个美好的世界，这也是激励作者及所有为之奋斗的计算机工作者的主要动力。虽然目前计算

机并不能达到动画片中变形金刚的十分之一的能力，但是技术进步是不会停止的。

1.1.1 人类视觉神经的启迪

20 世纪 50 年代，Torsten Wiesel 和 David Hubel 两位神经科学家在猫和猴子身上做了一项非常有名的关于动物视觉的实验（如图 1-2 所示）。

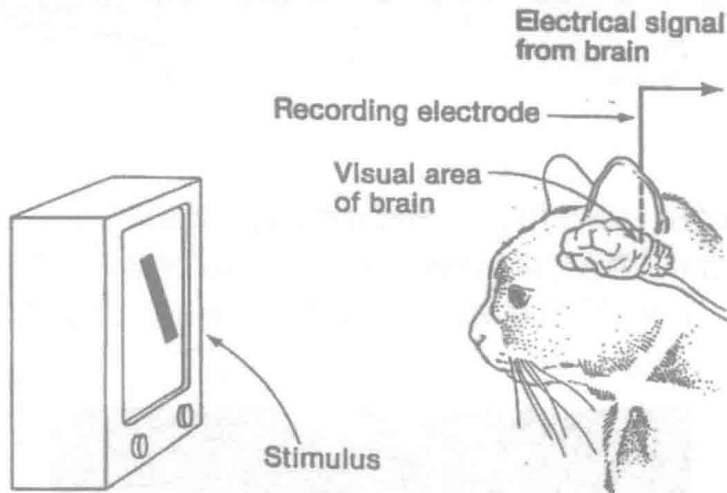


图 1-2 脑部连入电极的猫

实验中猫的头被固定，视野只能落在一个显示屏区域，显示屏上会不时出现小光点或者划过小光条，而一条导线直接连入猫的脑部区域中的视觉皮层位置。

Torsten Wiesel 和 David Hubel 通过实验发现，当有小光点出现在屏幕上时，猫视觉皮层的一部分区域被激活，随着不同光点的闪现，不同脑部视觉神经区域被激活。而当屏幕上出现光条时，则有更多的神经细胞被激活，区域也更为丰富。他们的研究还发现，有些脑部视觉细胞对于明暗对比非常敏感，对视野中光亮的方向（不是位置）和光亮移动的方向具有选择性。

自从 Torsten Wiesel 和 David Hubel 做了这个有名的脑部视觉神经实验之后，视觉神经科学（如图 1-3 所示）正式被人们所确立。截至目前，关于视觉神经的几个广为接受的观点是：

- 大脑对视觉信息的处理是分层级的，低级脑区可能处理边度、边缘的信息，高级脑区处理更抽象的信息，比如人脸、房子、物体的运动之类的。信息被一层一层地提取出来往上传递进行处理。
- 大脑对视觉信息的处理也是并行的，不同的脑区提取出不同的信息，干不同的活，有的负责处理这个物体是什么，有的负责处理这个物体是怎么动的。
- 脑区之间存在着广泛的联系，同时高级皮层对低级皮层也有很多的反馈投射。
- 信息的处理普遍受到自上而下和自下而上的调控。也就是说，大脑可能选择性地对某些空间或者某些特征进行更加精细的加工。

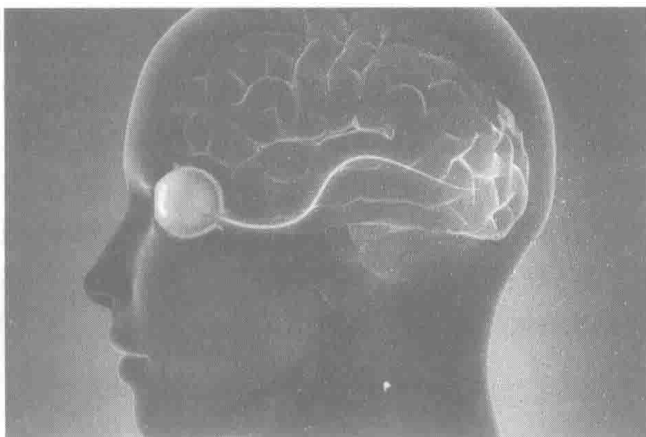


图 1-3 视觉神经科学

进一步的研究发现,当一个特定物体出现在视野的任意一个范围,某些脑部的视觉神经元会一直处于固定的活跃状态。从视觉神经科学的角度解释,就是人类的视觉辨识是从视网膜到脑皮层,神经系统从识别细微细小的特征演变为目标识别。对计算机来说,如果拥有这么一个“脑皮层”对信号进行转换,那么计算机仿照人类拥有视觉就会变为现实。

1.1.2 计算机视觉的难点与人工神经网络

尽管通过大量的研究,人类视觉的秘密正在逐渐被揭开,但是相同的想法和经验用于计算机上却并非易事。计算机识别往往有严格的限制和规格,即使同一张图片或者场景,一旦光线,甚至于观察角度发生变化,那么计算机的判别也会发生变化。对于计算机来说,识别两个独立的物体容易,但是在不同的场景下识别同一个物体则困难得多。

因此,计算机视觉的核心在于如何忽略同一个物体内部的差异而强化不同物体之间的分别(如图 1-4 所示),即同一个物体相似,而不同的物体之间有很大的差别。



图 1-4 计算机视觉

长期以来,对于解决计算机视觉识别问题,大量的研究人员投入了很多的精力,贡献了很多不同的算法和解决方案。经过不懈的努力和无数次尝试,最终计算机视觉研究人员发现,使用人工神经网络用以解决计算机视觉问题是最好的解决办法。

人工神经网络在 20 世纪 60 年代就产生萌芽,但是限于当时的计算机硬件资源,其理论只能停留在简单的模型之上,无法得到全面的发展和验证。