



计算机视觉译丛



Springer

Image Processing Using Pulse-Coupled Neural Networks

—Applications in Python (Third Edition)

(第三版)

图像处理与脉冲耦合神经网络 ——基于Python的实现

[美] 托马斯·林德布拉德 (Thomas Lindblad)

著

[美] 詹森·金赛 (Jason M. Kinser)

徐光柱 马义德 雷帮军 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

Image Processing Using Pulse-Coupled Neural Networks

—Applications in Python(Third Edition)

(第三版)

图像处理与脉冲耦合神经网络 ——基于 Python 的实现

[美] 托马斯·林德布拉德(Thomas Lindblad)

[美] 詹森·金赛(Jason M. Kinser)

著

徐光柱 马义德 雷帮军 译

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

图像处理与脉冲耦合神经网络:基于 Python 的实现:
第三版/(美)托马斯·林德布拉德(Thomas Lindblad),
(美)詹森·金赛(Jason M. Kinser)著;徐光柱,马义德,
雷帮军译. —北京:国防工业出版社,2017. 1

书名原文:Image Processing Using Pulse-Coupled
Neural Networks——Applications in Python(Third Edition)
ISBN 978-7-118-11171-2

I. ①图… II. ①托… ②詹… ③徐… ④马… ⑤雷…
III. ①神经网络—图象处理 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 314522 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 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 插页 6 印张 13 字数 285 千字

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 78.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

本书由国家自然科学基金项目“脉冲耦合神经网络中的可靠信息传播机制研究”(61402259),国家自然科学基金项目(61272236, 61175012, U1401252),三峡大学青年拔尖人才培育计划项目(KJ2014H001),三峡库区生态环境教育部工程研究中心开放基金项目(KF2015-10),湖北省自然科学基金创新群体项目“面向水库库岸滑坡识别与变形监测的多尺度智能视觉相关技术研究”(2015CFA025)联合资助!

译 者 序

自 1943 年由心理学家 W. S. McCulloch 和数理逻辑学家 W. Pitts 建立的 MP 模型诞生以来,人工神经元及人工神经网络经过了 70 多年的演变,产生了多种数学模型。根据神经元计算单元的性能及输入输出类型的不同,这些模型可划分为不同的三代。第一代是以 MP 阈值神经元为基础,概念上较为简单的模型。虽然这类模型只能给出二进制输出,但却可以构建功能强大的人工神经网络,如多层感知器、Hopfield 网络等。该类模型对数字运算是通用的,通过多层感知器的配合可以实现各种数字运算。第二代神经元模型不使用阈值函数,而使用连续的激活函数,这使得它们能够实现各种模拟运算和数字运算。第一、二代神经元模型没有充分运用单个神经元脉冲,它们的输出位于 0~1 之间,这可以看作神经元在一定时间间隔内的归一化发放频率,这就是频率编码,即输出频率越高表示输出值越大。由于真实神经元只工作在发放和不发放两种状态,没有中间状态,因此频率编码可以看作一个平均机制。神经生理学研究发现,真实的神经元有一个基本发放频率,连续的激活函数可以对这种中间频率进行建模,因此第二代神经元模型要比第一代神经元模型更接近真实神经元,功能也更加强大。第三代神经网络通过使用单个神经脉冲为通信和计算提供了空间-时间信息,使其更像真实神经网络,是当前神经网络研究领域的一个热点问题。越来越多的神经信息学、计算机科学等领域的研究人员开始关注以发放脉冲为研究对象的脉冲神经网络(Spiking Neural Network)的数学模型、信息传递方式及应用。

脉冲耦合神经网络(Pulse Coupled Neural Network, PCNN)最早源于 Eckhorn 等人对猫的视觉皮层的研究模型,是一种典型的第三代神经网络,在图像处理与分析及计算机视觉领域中有广泛的应用。1989 年和 1990 年, Eckhorn 等人根据猫的视觉皮层中存在的同步振荡现象提出了一种脉冲神经网络模型。该模型由相互连接的神经元构成,每个神经元包括两类输入:馈入输入和起调制作用的连接输入。馈入输入总和被连接输入总和通过乘性耦合进行调制,从而改变神经元的脉冲发放(又称点火)时刻,使具有相似特征检测功能的神经元在相似输入下产生同步振荡。Eckhorn 模型的创新主要在于它引入了乘性的连接域。越来越多的实验证明,不同神经元的输入不仅有加性耦合关系,同时也有乘性耦合关系。Eckhorn 等人提出的这种脉冲神经网络模型,能够通过同步振荡来弥补神经元输入中少量差异造成的影响。如果将数字图像馈入到二维 Eckhorn 神经网络中,就可以利用像素间的位置与灰度(颜色)相似性实现有效分组,可用于图像分割、边缘检测、降噪、阴影去除、特征提取等多种应用。Johnson 等人认识到了该模型的广阔应用前景,并将其改进后引入图像处理与分析领域,其改进模型及变形被统称为脉冲耦合神经网络(PCNN)模型。

脉冲耦合神经网络应用于图像处理与分析的优势在于,其为图像中单个像素属性的

描述提供了一种全新的方式。像素所对应的脉冲耦合神经元的动态发放模式同时可以描述像素的自身属性(灰度或颜色)和其在图像中的空间结构属性,神经元间通过动态脉冲耦合实现信息的传播和交互,这为其所对应的各像素的动态时空联合处理提供了便捷途径,具有非常广阔的研究前景及应用价值。

在众多脉冲耦合神经网络研究工作者中,瑞典皇家理工学院的 Thomas Lindblad 教授和美国乔治梅森大学的 Jason M. Kinser 副教授研究成果颇丰,两位合著的 *Image Processing Using Pulse-Coupled Neural Networks* 是目前脉冲耦合神经网络应用研究中最具权威性的著作。两位研究者在 2013 年又联袂推出了该书的第三版,除增加了有关脉冲耦合神经网络的最新研究成果外,还同时给出了书中算法的 Python 实现代码,使得该书更具研读价值。本书译者有幸经原作者及相应出版社的同意翻译此书,以便国内读者可以更方便地了解该书内容。

参与本书翻译与校稿工作的人员还包括熊丹丘、李迪、宁力、彭曼、张齐齐、刘晶叶、汪亚玲、张柳、赵晶晶、余迪、胡松、孙磊、王亚文等,感谢她(他)们的辛勤劳动。同时还要感谢清华大学的胡广书教授和北京工业大学的张延华教授对本书出版给予的支持与帮助。在译稿出版之际,我们还要向国防工业出版社的责任编辑江浩及美工设计人员表达最真挚的谢意,感谢他们为本书的出版所付出的劳动。

《图像处理与脉冲耦合神经网络》(第三版)译作虽然经我们多人反复修正与校对,但限于我们的知识和理解的局限,错译、误译、漏译及其他疏忽之处仍可能存在。在此,恳请专家及读者朋友不吝指教,以便于更好地提升译文质量。

译者

2017 年 1 月 7 日

第三版前言

相对于第二版而言,第三版增加了两个主要的部分。首先是增加了一些新的应用。近年来与 PCNN 及交叉皮层模型(ICM)相关的论文不断涌现,其中一些被选入了本书。

第二个主要变化是增加了 Python 脚本代码。近十年来,作为一个功能强大的工具,Python 已经被用于很多科学研究领域。配合 Numeric 包,Python 能以寥寥几行代码轻松地实现线性代数运算。这种高效性使得在书中理论及应用部分加入 Python 脚本代码成为可能。

我们尽一切可能力求书中相关应用的 Python 代码完整可靠。脚本代码是基于 Python 2.7 的,这是 Linux 发行版本中的标准配置。使用 Python 3.0 的读者会发现一些语法差异,需要对 Python 2.7 版本下的代码进行相应调整。

对 Python 编程较为熟悉的读者可能会注意到书中代码可以被压缩至更少行。但本书附带代码的用意是传递学术信息,所以脚本代码相对于精简性而言更偏重于可读性。

本书作者编写的所有 Python 脚本代码可以从网站 <http://www.binf.gmu.edu/kinser> 下载。Python 系统、Numeric Python 包(NumPy)、Scientific Python 包(SciPy)、Python 图像包(Python Image Library,PIL)可以从其各自的网站获得,这将在本书第 3 章给出说明。书中所有脚本代码受版权保护,只能用于学术研究,未经允许,不得用于商业目的。

Thomas Lindblad, Jason M. Kinser

2012 年

于斯德哥尔摩和马纳萨斯

第二版前言

在第一版前言中已经提到,近几十年来,通过电子手段处理图像一直是一个非常热门的领域。现在依然如此,其目标无论是在过去还是现在,都是要让机器实现人脑很容易就能够完成的图像处理功能。在实现这一目标的过程中,我们了解了很多人脑的工作机理,并同时研究如何将这些发现应用到图像处理问题中。虽然还有很长的路要走,但在过去的五六年间,我们也学到了很多。这些信息以及基于这些信息的一些思考也一并加入到本书的第二版中。

当前的这一版本包括两个皮层模型的原理和应用:PCNN(脉冲耦合神经网络)和交叉皮层模型。这两个模型都是源自于大脑视觉皮层,因此有必要回顾一下对PCNN和ICM的发展起到重要影响作用的算法。除了加入的一些新的应用外,本书大纲的其他部分和第一版非常接近。

书中第7章将对部分新的应用进行讨论,同时涵盖了相应研究成果的合作者及同事的思想。为此,我们要特别感谢毛里求斯大学科学学院院长 Soonil D. D. V. Rughooputh 和毛里求斯大学工程学院院长 Harry C. S. Rughooputh。

我们也要答谢乔治·梅森大学计算机科学学院的博士生 Guisong Wang 为本书第5章所做的重要贡献。

我们还要感谢斯德哥尔摩皇家工学院的一些博士生和毕业生,特别是 Jenny Atmer、Nils Zetterlund 和 Ulf Ekblad。

Thomas Lindblad, Jason M. Kinser

2005年4月

于斯德哥尔摩和马纳萨斯

第一版前言

几十年来,通过电子手段处理图像一直是一个非常热门的领域。现在依然如此,其目标无论是在过去还是现在,都是要让机器实现人脑很容易就能够完成的图像处理功能。这一目标目前还远没有实现。因此,我们必须学习更多关于人类视觉机制的知识并研究如何将其应用于图像处理中。通常来说,大脑的活动是通过数十亿简单的处理单元即神经元来共同完成的,这些神经元通过复杂的突触系统互相连接。在人工神经网络中,神经元通常是执行相加、阈值化等运算的简单部件。然而,我们在这里要指出的是真实的生物神经元是相当复杂的,与人工神经元相比,它能够执行更复杂的计算。而且,生物神经元也是具有特定功能的,大脑中的神经元类型有数百种,神经元之间通过神经脉冲进行信息传递。

最近,科学家们已经开始尝试去发现一些小型哺乳动物的视觉皮层的工作机理。这些发现促成了一些新算法的产生,这些算法能够以更加精巧的方式来实现电子图像处理。随着这些受生物启发算法的出现,特别是神经网络,人们已经开始采取另一思路来实现前述关于电子图像处理的目标。

本书中关于视觉皮层模型描述,将采用脉冲耦合神经网络(PCNN)这一术语。PCNN是一种神经网络算法,当外界激励是灰度图像或彩色图像时,该神经网络会输出一系列二值脉冲图像。PCNN与我们所讨论的传统意义上的神经网络的不同之处在于其不需要训练。图像处理最终的目标是根据图像的内容做出决策。而利用PCNN的脉冲输出通常比直接使用原始图像更容易实现判断。因此,PCNN是一种非常有用的预处理工具。然而,也有人认为PCNN不仅仅是一个预处理工具,它可能还具有自组织能力,这种能力使得用PCNN实现联想记忆器成为可能。对于一种不需要训练的算法来说,具有这种能力是很不寻常的。

最后,需要注意的是PCNN完全可以用硬件实现。传统的人工神经网络有大量的扇入与扇出。也就是说,一个神经元与许多个其他神经元相连。在电子设计中,实现每个神经元间的连接都需要一条不同的“电线”,在此情况下,建立一个大的网络是十分困难的。而PCNN则仅具有局部连接性,且大多数情况下这些连接总是正性的,这在电路实现上是可行的。

PCNN功能非常强大,我们对它的研究才刚刚开始。本书首先回顾PCNN的原理,然后探究其在图像处理中的一些重要应用,如分割、边缘提取、纹理提取、目标识别、目标分离、运动处理、凹点检测、噪声抑制和图像融合。本书还将介绍PCNN处理逻辑竞争问题的能力及其在协同计算中的应用。此外,书中还将介绍PCNN的硬件实现。

本书面向熟悉图像处理术语并对图像处理技术有一定基础的读者,但并不要求读者具有全面的该领域知识。此外,从数学角度来看,PCNN并不是非常复杂,因此理解它也

不需要很全面、深入的数学知识。不过,书中将会涉及基于傅里叶变换的图像处理技术,因此具有这方面的知识对理解本书将是有益的。

PCNN 与当今所用的许多传统方法在本质上是不同的,很多传统方法都具有相同的数学基础,而 PCNN 则另辟蹊径。因此,PCNN 是一个令人兴奋不已且具有光明前景的研究领域。

Thomas Lindblad, Jason M. Kinser

1997 年

于斯德哥尔摩和马纳萨斯

致 谢

本书内容来自于作者及多所高校和研究机构的合作者。很多研究理事会、基金会及科研机构也都为本书的出版和合作的促成提供了帮助,在此对这些机构表示深深的感谢!这里要特别感谢以下科学家,他们是:Kenneth Agehed、Randy Broussard、Åge J. Eide、John Caulfield、Bruce Denby、W. Friday、John L. Johnson、Clark S. Lindsey、Steven Rogers、Thaddeus Roppel、Manuel Samuelides、Åke Steen、Géza Székely、Mary Lou Padgett、Ilya Rybak,感谢他们富有成效的合作和讨论。同时还要感谢 Stefan Rydström 所做的高质量编辑工作。

目 录

第 1 章 生物模型	1
1.1 引言	2
1.2 生物学基础	4
1.3 Hodgkin-Huxley 模型	5
1.4 Fitzhugh-Nagumo 模型	6
1.5 Eckhorn 模型	7
1.6 Rybak 模型	7
1.7 Parodi 模型	8
1.8 小结	8
第 2 章 Python 程序设计	10
2.1 编程环境	10
2.1.1 命令行界面	10
2.1.2 IDLE	11
2.1.3 创建一个工作环境	11
2.2 数据类型和简单的数学运算	12
2.3 元组、列表和字典	12
2.3.1 元组	12
2.3.2 列表	13
2.3.3 字典	14
2.4 切片	15
2.5 字符串	16
2.5.1 字符串函数	16
2.5.2 类型转换	18
2.6 控制流	18
2.7 输入和输出	20
2.7.1 文本文件读写	20
2.7.2 Pickle 模块	21
2.8 函数	21
2.9 模块	23
2.10 面向对象的程序设计	24
2.10.1 类的内容	24
2.10.2 运算符定义	25

2.10.3	继承	25
2.11	检错	26
2.12	小结	27
第3章	Numpy、SciPy 和 Python Image Library	28
3.1	NumPy	28
3.1.1	创建数组	28
3.1.2	数组转换	30
3.1.3	矩阵:向量乘法	30
3.1.4	数组的优势	31
3.1.5	数据类型	33
3.1.6	排序	36
3.1.7	字符串和列表的转换	37
3.1.8	矩阵的改变	39
3.1.9	高级切片	40
3.2	SciPy	41
3.3	NumPy 中的设计	43
3.4	Python 图像库 PIL(Python Image Library)	45
3.4.1	图像的读出	45
3.4.2	图像的写入	46
3.4.3	图像转换	46
3.5	小结	47
第4章	PCNN 与 ICM	48
4.1	PCNN	48
4.1.1	原始模型	48
4.1.2	Python 实现	49
4.1.3	脉冲发放行为	52
4.1.4	神经元动态行为的累积	54
4.1.5	时间信号	55
4.1.6	神经元连接	56
4.1.7	快速连接	58
4.1.8	连续时间模型	61
4.2	ICM	62
4.2.1	最小连接需要	62
4.2.2	ICM 原理	63
4.2.3	ICM 中的连接	65
4.2.4	ICM 的 Python 实现	68
4.3	小结	70
第5章	图像分析	72
5.1	相关图像信息	72

5.2	图像分割	76
5.2.1	血细胞	76
5.2.2	乳房 X 线影像	77
5.3	自适应分割	78
5.4	焦点和分级聚焦点	80
5.4.1	分级聚焦检测(凹点检测)算法	80
5.4.2	基于 PCNN 多级聚焦模型的目标识别	83
5.5	图像分解	86
5.6	小结	87
第 6 章	反馈和分离	88
6.1	反馈式 PCNN	88
6.2	目标分离	90
6.2.1	输入图像的规格化	91
6.2.2	滤波器的创建	92
6.2.3	脉冲图像的边缘增强	93
6.2.4	相关及改进	94
6.2.5	峰值检测	95
6.2.6	对输入图像和 PCNN 所做的调整	96
6.2.7	驱动程序	97
6.3	动态目标分离	98
6.4	阴影目标	99
6.5	噪声图像下的情况	101
6.6	小结	104
第 7 章	分类识别	105
7.1	航空器	105
7.2	北极光	106
7.3	目标识别:二值图像的相关性	107
7.4	星系	110
7.5	手势识别	114
7.6	路面检测	116
7.7	数字符号	118
7.7.1	数据集合	119
7.7.2	分离出各类的训练图像	120
7.8	产生脉冲图像	120
7.8.1	图像时间信号的分析	121
7.9	人脸定位及识别	123
7.10	小结	128
第 8 章	纹理识别	129
8.1	脉冲谱	129

8.2	纹理脉冲谱的统计可分性	132
8.3	基于统计方法的脉冲谱识别	132
8.4	基于联想记忆的脉冲谱识别	133
8.5	生物学上的运用	134
8.6	纹理研究	138
8.7	小结	141
第 9 章	颜色和多通道	142
9.1	模型	142
9.1.1	彩色图像的例子	142
9.1.2	基于 Python 的实现	146
9.2	多光谱实例	149
9.3	彩色模型的应用	152
9.4	小结	154
第 10 章	图像的时间信号	155
10.1	图像的时间信号理论	155
10.1.1	PCNN 和图像时间信号	155
10.1.2	彩色与形状	156
10.2	目标的时间信号	156
10.3	真实图像的时间信号	158
10.4	图像时间信号数据库	159
10.5	计算最佳视角	160
10.6	运动估计	162
10.7	小结	164
第 11 章	逻辑	165
11.1	迷宫穿行和 TSP(旅行商)问题	165
11.2	条形码和导航	167
11.3	小结	170
附录 A	图像转换器	171
附录 B	几何模块	175
附录 C	分数幂指数滤波器	177
附录 D	相关运算	179
附录 E	FAAM	182
附录 F	主成分分析	184
	参考文献	186

第1章 生物模型

人类拥有很强的能力来轻松地认知、分类和识别物体。例如,让一个人在一间大教室里寻找灯的开关,估计一两秒就能找到,即使灯的开关安装在人们意想不到的地方或者它的形状与人们的想象有一定差异,人们找到它也不难。人类也不需要为了识别相似的物体而去看几百个例子。例如,一个人只需要见过几条狗,就可以从他从来没有见过的物种中轻松识别出狗来。其他动物也都或多或少地拥有这种识别能力。如一只蜘蛛能轻松识别出一只苍蝇,甚至是幼小的蜘蛛也具有这种能力。在这个功能层面上,生物系统只需要几百到 1000 个处理单元或神经元就可以做得很好。

相反,如果让计算机来完成这些任务则非常困难。对冯·诺依曼机器而言,完成这些任务首先需要极大容量的内存并具有人类大脑运算的处理速度。另外,能完成上述一般性识别任务的软件目前还没有出现。在一些特定的问题中,计算机的确能够完成一些特定任务,但对于一般性的图像处理与识别任务,计算机还无法企及人类所达到的程度。

英特尔和 IBM 公司已经尝试过用硅构成的芯片硬件来实现神经系统。英特尔公司生产的可训练的电子神经网络芯片具有 128 个神经元^①,IBM 公司的第一个零指令计算机(ZISC36)芯片具有 36 个神经元。然而,这些都是基于反向传播算法和径向基函数算法的“数学”型神经元,并不是真正的对生物神经系统的实现。ZISC36 芯片能够容易地并行放置在一起,从而构建出数百个神经元。这个芯片还在不断的发展,并且目前已经形成了具有 1000 多个神经元的 CIMK 芯片。这种芯片含有神经元的数目介于苍蝇和蠕虫具有的神经元数目之间,但计算速度比这两者“快”一点。然而,在达到小型哺乳动物和人类的处理速度之前,仍然有很长的一段路要走,如图 1.1 所示。曼彻斯特大学最近的一项

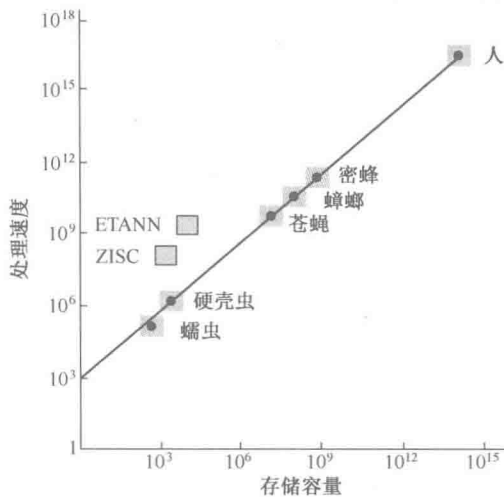


图 1.1 书中所提及的一些动物大脑中某些神经网络系统性能的比较

① 文献[65]给出了一个例子来说明一些应用是如何使用这 128 个神经元的。

研究工作是设计 SpiNNaker(脉冲神经网络体系结构),这是为了模拟大规模脉冲神经网络而设计的一种并行计算机。这种设计允许每台计算机容纳超过百万数量级的内核。第一台计算机预期在 2013 年底完成。如图 1.2 所示的是 ETANN、ZISC 及其他的一些神经网络芯片。

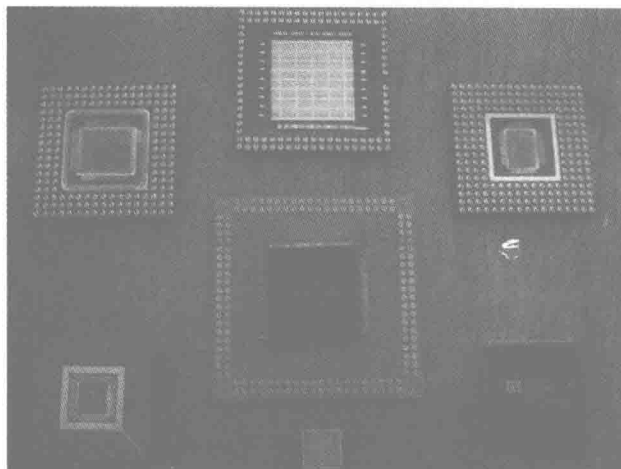


图 1.2 一些神经网络的芯片
(位于右上角的是书中及图 1.1 所提到的 ETANN,中间及中下方的是 ZISC036)

在确定的环境复杂度的条件下(例如输入组合数),人们常说,神经形态的计算机其性能要优于冯·诺依曼架构的计算机。这里存在一个复杂度的“平衡点”,在该平衡点之后,冯·诺依曼计算机的复杂度(例如尺寸、功率、存储器大小、门电路个数、突触数目)显著增加,而对于神经形态的计算机其复杂度则没有明显增加。然而,神经形态的计算机想要达到人类大脑的处理水平,其复杂度也会以规模增长。除上述神经元的数目问题以外,至少还有两个基本的问题需要思考,即为特定任务而设计的神经元和类似哺乳动物具有的智能传感器,这对于视觉系统来说尤为重要。各神经元从相邻的神经元中获得辅助信息,这些信息以并行的方式被送入中脑,反馈信息被用于优先选择重要信息。这一过程,计算机领域的人会描述为:这是一个特征提取系统,其具有的冗余性和中脑中的并行触发系统确保了重要信息传递到视觉脑皮层。同时,当我们开始意识到所看见的物体时,上述过程中所传送的数据量从最初的来自于大约 10^8 个神经元的 50Mbit/s 的数据率,急速减少至接近于通常的视频传输速率。

1.1 引言

前面讨论的处理过程中有一部分是发生在视觉皮层的,它是大脑的一部分,用于处理从眼睛接收的图像信息。在视觉皮层处理图像信息之前,眼睛已经对图像进行了处理并在很大程度上进行了改变。视觉皮层接着将从眼睛传来的视觉图像转换成脉冲流。小型哺乳动物的大脑视觉皮层部分的人工模型已经被研究出来了,并成功地应用于许多图像处理应用中。