

图像分割方法研究

Tuxiang Fenge Fangfa Yanjiu

曹建农 著

西安地图出版社

图像分割方法研究

曹建农 著

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

图像分割方法研究/曹建农著. —西安:西安地图出版社, 2006. 8
ISBN 7—80670—940—1

I. 图… II. 曹… III. 遥感图像—图像处理—研究 IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 067714 号

图像分割方法研究

曹建农 著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 陕西省乾兴印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 1/16 开 10.75 印张 272 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印数 0001~1000

ISBN 7—80670—940—1/K · 337

定价:22.00 元

内 容 提 要

本书对图像分割的基本原理、方法及有关内容进行了概述。重点研究了可分解马尔科夫网(Decomposable Markov Networks, DMN)的概念、方法,并将其应用于图像分割及其它处理(包括噪声图像的平滑、滤波)。

本书内容主要包括四大部分。为对图像分割问题具有比较全面的覆盖,有利于阅读,本书将图像分割相关研究的内容尽可能收入,并分散安排在第一部分之中,第一部分(包括总论、第一、八章)介绍了图像分割的概念、基本分割算法及其在图像理解中的意义,并对图像并行处理技术和图像分割评价等相关内容进行了简单介绍;第二部分(包括第二、三章)介绍了图论、概率网络及 DMN 的概念和方法,研究了基于图论的图像分割方法;第三部分(包括第四、五、六章)介绍了 DMN 在图像分割问题中的扩展、建模方法和应用;第四部分(包括第七章)比较研究了图像分割中 DMN 与马尔科夫随机场(Markov Random Field, MRF)方法的联系与区别。书中列出了 250 多篇主要参考文献,以便读者参考和进一步研究。

本书可作为图像处理、模式识别及相关学科本科高年级和研究生专业基础课程参考书,也可供上述领域的科技工作者和高等院校的教师参考。

序

至今,图像分割尚无通用的分割理论和方法,现存的各种各类分割算法大都是基于某种具体问题,这是目前图像分割所面临的困难。本书提出一个新的理论和方法,基于此,可以改善图像分割算法对具体问题的过度依赖性,本书方法在一定程度上具有方法论意义上的通用性。

我们知道,图像分割是图像信息处理中十分重要的研究内容,在图像理解、模式识别、图像编码和图像合成等方面有广泛的应用,然而它也是一个很困难的经典问题。尤其是图像获取的机理使得图像区域边界之间不可避免地会产生灰度平滑,同时由于光谱的复杂作用也会使不同目标区域中存在灰度重叠,这些都会造成图像分割的困难,有效的避免方法是对图像进行平滑预处理,可以大大地压缩目标灰度重叠。另一方面噪声也会严重影响图像分割的质量,对噪声图像进行滤波预处理也是提高图像分割质量的重要一环。

本书提出的基于可分解马尔科夫网(络)(Decomposable Markov Networks, DMN)的方法是基于系统的信息熵差原理进行网络的结构搜索,通过网络结构输出形式判断像素的亮度,将其归为高亮、中亮(缓冲区)、低亮三类,获得缓冲区。所谓缓冲区是局部无法判明亮度(不亮也不暗)归属(高亮或低亮)的像素的集合。它与过渡区既有区别又有联系,即缓冲区包含了过渡区,而过渡区不一定是缓冲区,因为它们具有不同的理念。缓冲区是局部暂时不明归属的像素的容纳区域,可以通过修改缓冲区的容量,来控制缓冲区像素的数量。从缓冲区中压出栈的像素,将自适应地根据局部特征被分别归入高亮或低亮的像素区域,实现对图像分割的缓冲区控制法,这个过程是一个连续的过程。而过渡区则被认为是一个包含区域边界的部分,对它再实施分割就获得了区域边界,可见过渡区是一个固定的区域,不可调整,噪声或误差对分割结果的影响是不可避免的。

既然可分解马尔科夫网络(DMN)模型可以判断出每一个像素的亮度归属,所以它对图像的平滑和滤波也都是可以实现的。实质上,无论是图像平滑、滤波,或者图像分割,其关键问题都在于对单个像素特征的识别,既然 DMN 可以识别单个像素的特征,所以,它必然可以分别进行平滑、滤波、分割处理。一些相关文献都认为图像平滑、滤波将有利于图像分割,所以图像平滑、滤波方法也是本书的研究内容。图像平滑、滤波(或分割)的方法已经提出了不少,但是它们大都是基于具体图像的特征而进行的图像平滑和滤波(或分割),所以不可能基于一种模型分别进行平滑、滤波(或分割)处理。

在图像平滑、滤波处理中,图像中的非灰度抖动和非噪声像素在平滑、滤波前后的灰度值应当保持不变,同时平滑、滤波操作只应当改变图像抖动灰度或噪声灰度的值。本书方法通过 DMN 的结构搜索,可以得到被平滑、滤波图像像素灰度的三个重要信息:一是灰度抖

动或噪声像素的精确位置;二是灰度抖动或噪声像素的灰度值应该改正的方向(即上调或下调);三是与灰度抖动或噪声像素具有最大相关性的近邻像素的精确位置。

传统平滑、滤波(包括均值滤波)方法的致命缺陷在于:一是没有精确的噪声定位,因此这些方法认为滤波窗口中心像素就是噪声像素;二是认为窗口内所有像素灰度都对中心噪声像素有贡献。所以,在平滑、滤波时,对噪声像素的替代就采用了不加区别地对窗口内所有像素灰度进行平均的方法。因此,传统平滑、滤波(包括均值和中值滤波)方法由于没有对噪声进行精确定位,就造成了平滑、滤波图像的几何畸变;而不区分与中心噪声像素相关性的均值(中值)处理,就造成了平滑、滤波图像的灰度畸变(模糊)。传统滤波的方法都存在窗口越大滤波图像的几何畸变和灰度畸变(模糊)越严重的现象。这种滤波方法中存在着噪声滤除与图像失真(几何畸变和灰度畸变)的不可调和的矛盾。

基于 DMN 的平滑、滤波方法的特点在于:首先对噪声进行定位;然后确定与噪声像素相关的近邻像素;最后只对与噪声像素相关的近邻像素进行均值(或中值)计算,并替代噪声像素。从上述特点中可以看出,精确的噪声定位确保了平滑、滤波图像的几何信息稳定性,选择性地均值(或中值)计算确保了滤波图像的灰度信息稳定性,这样就综合确保了图像的平滑、滤波质量,为改善图像分割质量奠定基础。

为实现上述原理,本书作了广泛的相关研究。

深入研究了图论与概率网络的内在联系,以及可分解马尔科夫网络的本质特征;同时,比较全面地探讨了图像分割中图论技术的应用与发展及其局限性;提出了图像分割中可分解马尔科夫网的扩展方式,以及建模方法;最后以实验对本书方法与其它方法进行了分析比较研究。

应当指出的是:本书方法具有比较广泛的基本图像处理问题的适用性,它不仅可以进行图像分割,而且只需要简单地改变输出规则,就可以进行图像滤波、平滑处理。通常,图像滤波和平滑既可以看作是一个独立的研究领域,同时它们也是图像分割等的预处理方法,所以,对它们的研究既是本书研究的副产品,也是本书的图像分割方法的重要补充。在基于 DMN 的图像分割中,本书提出了缓冲区概念,并将它与过渡区法、水线法等图像分割方法进行比较分析,结果表明本书方法具有广泛的理论意义和实用价值。

本书的主要研究工作包括:

①全面综述了图像分割的现状和困难,指出图像分割在图像理解、人工智能和视觉中的意义和重要性,分析了基于神经网络和信息论的图像分割的一些具体算法问题。

②全面地探讨了概率网络的意义和方法,研究了它的产生背景与发展现状,及其与图论、神经网络技术等的深刻关系。概率网络的广泛含义,及其与马尔科夫随机场、空间统计学和神经网络等的内在联系,为图像分割领域的研究拓宽了思路。

③深入研究了基于图论的图像分割技术,恰当的指出单纯基于图论的图像分割方法的局限性。并且指出,在图的构造和输出中应该结合多种数学方法和理论(例如,数理统计理论和信息论等),构成更为完善的图模型和其输出方法。

④重新给出适合图像分割的可分解马尔科夫网(DMN)定义,研究了图像分割中 DMN 的扩展途径和方法。

⑤研究和建立了图像分割的可分解马尔科夫网(DMN)模型,并对相关问题(图像平滑、滤波)进行研究和探讨。

⊙对上述理论和方法进行实验研究,并得出相应结论。

⊙对图像分割中马尔科夫随机场(MRF)方法进行了全面的分析和总结,并将它与DMN方法的区别与联系进行了比较深刻地探讨,用实验对两种方法进行了比较研究得出结论。

本书的创新点主要包括:

⊙对图论与概率网络的关系进行了深刻地综述性研究。

⊙提出了基于可分解马尔科夫网络(DMN)的图像分割方法和模型。

⊙比较了基于马尔科夫随机场(MRF)的图像分割与基于可分解马尔科夫网络(DMN)的图像分割方法与原理。

⊙提出的可分解马尔科夫网络(DMN)模型可以用于主要图像处理任务(图像平滑、滤波和分割),并对此进行了实验研究。

⊙提出了缓冲区法等图像分割新概念。

存在的问题:

⊙在噪声图像的分割中,平滑、滤波处理带来的边界分割误差较大。

⊙基于DMN方法的参数(例如网络搜索半径、缓冲区系数)取值是由经验获得,降低了算法的自动化程度。

需要继续研究的工作:

⊙将图像滤波、平滑纳入到基于DMN噪声图像分割的有机过程中,即实现基于DMN的去噪、平滑和分割的有机集成,减小分割结果的边缘误差。

⊙结合其它理论(例如空间统计学、变差分析等)建立网络搜索半径、缓冲区系数等参数与图像分割的内在联系,摆脱经验依赖,提高自动化程度。

⊙缓冲区的性质有待于更深入地研究。

本书的基础是作者攻读博士学位的论文。因此,非常感谢我的导师李德仁院士和关泽群教授的悉心指导和教诲。本书为地理空间信息工程国家测绘局重点实验室经费资助项目(编号200632),以及长安大学科研启动经费资助项目(编号6928)。由于本书只是研究的阶段性成果,时间仓促,作者水平有限,错谬之处难免,恳请各位读者及同行专家指正。

著者:曹建农

2006年4月4日

目 录

0 总论	(1)
0.1 图像分割问题概述	(1)
0.1.1 图像分割的基本概念	(1)
0.1.2 图像分割的研究内容	(1)
0.1.3 图像分割在图像理解中的地位	(2)
0.2 图像分割模型概述	(3)
0.2.1 基于线(边界)和基于区域特征的分割模型	(3)
0.2.2 基于串行和基于并行技术的分割模型	(4)
0.2.3 基于特定数学或仿生理论基础的分割模型	(6)
0.3 图像并行处理技术概述	(9)
0.3.1 图像并行处理技术的概念与基础	(12)
0.3.2 图像并行处理技术的应用	(16)
1 绪论	(19)
1.1 图像理解的研究、应用及图像分割	(19)
1.1.1 什么是图像理解	(19)
1.1.2 图像理解模型	(19)
1.1.3 图像理解的研究和应用	(21)
1.2 图像分割及其意义	(22)
1.3 图像分割的研究现状及其面临的问题	(24)
1.4 本文的研究内容和目标	(28)
1.5 论文的组织与安排	(29)
2 图论、概率网络及 DMN	(30)
2.1 图论与概率网络	(30)
2.1.1 图论的基本概念	(30)
2.1.2 概率网络的概念	(33)
2.1.3 概率分布的图表达及意义	(36)
2.2 可分解马尔科夫网络(DMN)的研究与应用现状	(37)
2.2.1 可分解马尔科夫网络(DMN)的研究	(37)

2.2.2	可分解马尔科夫网络(DMN)的应用现状	(42)
2.3	概率网络中的局部计算	(44)
2.3.1	条件概率表	(45)
2.3.2	证据势函数	(45)
2.3.3	集合链	(46)
2.3.4	集团边缘	(46)
2.4	本章小结	(47)
3	图论与图像分割方法研究	(49)
3.1	图像分割中图论方法的应用	(49)
3.2	图像分割中图论方法的局限性	(54)
3.3	图像分割中图论方法的扩展途径	(56)
3.4	本章小结	(56)
4	DMN 在图像分割中的扩展	(57)
4.1	什么是 DMN	(57)
4.2	图像分割中 DMN 的再思考与再定义	(58)
4.3	DMN 在图像分割中的扩展	(60)
4.4	本章小结	(60)
5	图像分割中 DMN 的建模方法	(61)
5.1	图像分割中的算法综述	(61)
5.1.1	边界分割算法简介	(61)
5.1.2	区域分割算法简介	(64)
5.1.3	结合特定理论工具的分割技术	(70)
5.2	图像分割中 DMN 的建模方法	(80)
5.3	本章小结	(84)
6	DMN 在图像分割中的应用	(85)
6.1	DMN 网络工作机制	(85)
6.1.1	单个节点的工作机制	(86)
6.1.2	网络整体的工作机制	(86)
6.2	基于 DMN 的图像滤波、平滑以及分割的算法思想	(88)
6.2.1	基本思想	(89)
6.2.2	像素特征定位	(90)
6.2.3	算法流程	(90)
6.3	DMN 图像滤波、平滑以及分割与其它方法的比较	(92)
6.3.1	基于 DMN 方法与其它平滑、滤波方法的比较	(92)
6.3.2	基于 DMN 图像分割与水线方法的比较	(93)

6.3.3	基于 DMN 图像分割与过渡区方法的比较	(94)
6.4	实验分析与结论	(96)
6.4.1	基于 DMN 的图像滤波实验与结论	(96)
6.4.2	基于 DMN 的图像平滑实验与结论	(101)
6.4.3	基于 DMN 的图像分割实验与结论	(105)
6.5	基于 DMN 的人造目标(Man-made Object)分割试验	(111)
6.6	本章小结	(120)
7	图像分割中 DMN 与 MRF 的比较	(121)
7.1	MRF 及其图像分割方法概述	(121)
7.2	图像分割中 MRF 的原理与方法	(124)
7.2.1	图像分割中 MRF 的基本原理	(124)
7.2.2	图像分割中 MRF 的实施方案	(127)
7.3	图像分割中 DMN 与 MRF 方法的比较分析	(129)
7.4	本章小结	(132)
8	图形分割评价方法概述	(134)
8.1	图像分割评价准则概述	(135)
8.2	图像分割算法评价框架研究	(139)
9	全文总结与展望	(143)
9.1	全文总结	(143)
9.2	展望	(144)
	参考文献	(145)

0 总论

0.1 图像分割问题概述

0.1.1 图像分割的基本概念

为什么要进行图像分割(image segmentation),这是初学者一般要提出的问题。对这个问题的最本质回答应该涉及图像的基本结构和计算机表示方法的概念。简单说,一幅数字图像在计算机中是以矩阵形式分布表示不同位置处的客观对象的灰度(对电磁波响应的强度)值,每一个记录单元对应一个矩阵位置坐标,客观对象对电磁波响应的强度(灰度)不同,在矩阵中就形成了不同灰度分布的信息,即图像。由于电磁波传输过程的复杂过程以及电磁波与客观对象表面的相互作用(反射、散射、折射、吸收等),一般而言,同一个客观对象在图像中不可能具有一样的灰度(而同一个客观对象在图像中却可能具有一样的灰度),这样,在图像中我们就无法指明,哪一个灰度对应哪一个客观对象,也就无法实施进一步的图像分析等工作。虽然同一个客观对象在图像中不可能具有一样的灰度,但是它们一般具有灰度的相似性,并且一般具有正态分布的特征,因此我们可以根据特定的计算机算法将相似的灰度赋予同样的灰度值,这样就可以将图像中不同客观对象分割开来,有利于后续图像分析工作,这就是图像分割。

但是,实际图像问题会受到多种因素的综合影响,其灰度相似性和分布特征呈现非常复杂的形式,所以图像分割领域的研究十分复杂和庞大。关于图像分割概念的深入讨论安排在下一章。

0.1.2 图像分割的研究内容

图像分割算法分类是深入研究图像分割问题的必要前提^{[2][3]}。

至今已提出了上千种各种类型的分割算法。由于现有的分割算法非常多,所以将它们进行分类的方法也提出了不少。但是,大多数分类方法都过分注重具体算法的特征方面,常常出现算法分类间的重叠,使得分类方法具有一些概念的模糊性(相似性),不利于图像分割的深入研究。然而具有一定共识的分类方法是基于图像本身结构考虑和基于计算策略考虑进行的分类。这两个方面具有比较高的视角,因而比较全面。

基于图像本身结构考虑,认为对图像的分割可基于相邻像素在像素值方面的两个性质:不连续性和相似性(根据分割定义,见下一章)。区域内部的像素一般具有某种相似性,而在区域之间的边界上一般具有某种不连续性。所以分割算法可据此分为利用区域间特性不连续性的基于边界的算法和利用区域内特性相似性的基于区域的算法。

基于计算策略考虑,是根据分割过程中处理策略的不同,分割算法又可分为并行算法和串行算法。在并行算法中,所有判断和决定都可独立地和同时地作出,而在串行算法中,先前处理的结果可被其后的处理过程所利用。一般串行分割算法所需的计算时间常比并行分割算法要长,过程控制较复杂,但抗噪声能力也常较强。

上述这两个准则互不重合又互为补充,所以分割算法可根据这两个准则分成四类:(1)

并行边界类;(2)串行边界类;(3)并行区域类;(4)串行区域类。上述分类法具有比较广泛的包容性,在各类算法之间具有较少的重叠。

图像分割研究领域包含三个层次的研究任务,它是全面了解图像分割问题的重要基础。首先,是对图像分割算法的研究,它主要是对图像进行分割的技术问题,被看作是图像分割研究的第一个层次。其次,是对图像分割评价方法的研究,它主要是对图像分割技术的性能刻画和比较,它帮助把握不同分割算法的特点,被看作是图像分割研究的第二个层次。最后,是对分割评价方法和评价准则进行系统的研究,从而保证采用恰当的评价方法和评价准则来研究分割技术,被看作是图像分割研究的第三个层次。

迄今尚无通用的图像分割理论,因此现已提出的分割算法大都针对具体问题,并没有一种适合于所有图像的通用的分割算法。此外,给定一个实际图像分析问题要选择合适的分割算法同样没有标准的方法。为此需要对图像分割的评价进行研究。性能刻画是为了掌握某一算法在不同分割情况中的表现,以通过选择算法参数或流程来适应分割具有不同内容的图像和分割在不同条件下采集到的图像的需要;而性能比较则要获取对不同算法在分割给定图像时的性能比较结果,以帮助在具体分割应用中选取合适的算法。分割评价不仅是改进和提高现有算法性能,改善分割质量和指导新算法研究的重要手段,而且基于评价知识还可帮助从许多图像分割算法中根据应用要求选择最优的方法。最后,分割评价通过对分割算法性能的研究以达到优化分割的目的,它不仅可提高现有算法的性能,对研究新的分割技术也具有指导意义。

分割评价要采用有效的评价方法或方案(即机理和程序)和客观的评价准则(也常叫测度或指标)。对分割评价方法的系统研究不仅对选取有效的评价方法至关重要,进一步来说对提高分割质量也非常关键。换句话说,分割评价是为了研究分割技术,而对分割评价方法的系统研究则是为了研究评价方法,以更好地评价分割技术。从某种意义上说,对分割评价的系统研究是对分割评价的评价。目前国内外对图像分割评价方法和准则的系统研究仍很缺乏。

本书的研究只涉及图像分割的第一个层次,即图像分割算法的研究。

0.1.3 图像分割在图像理解中的地位

图像分割(image segmentation)是一种重要的图像技术,它不仅得到人们广泛的重视和研究,也在实际中得到大量的应用^{[2][3]}。图像分割在不同领域中有时也用其它名称,如目标轮廓(object delineation)技术,阈值化(thresholding)技术,图像区分或求差(image discrimination)技术,目标检测(target detection)技术,目标识别(target recognition)技术,目标跟踪(target tracking)技术等,这些技术本身或核心实际上也是图像分割技术。

图像技术在广义上是各种与图像有关技术的总称。图像技术种类很多,跨度很大,但可以将它们归在一个整体框架——图像工程之下。图像工程是一个对整个图像领域进行研究应用的新学科,它的内容非常丰富,根据抽象程度和研究方法等的不同可分为三个各有特点的层次:图像处理、图像分析和图像理解。

图像处理着重强调在图像之间进行变换以改善图像的视觉效果。图像分析则主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,以获得它们的客观信息从而建立对图像的描述。图像理解的重点是在图像分析的基础上,进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系,并得出对原始成像客观场景的解释,从而指导和规划行动。

图像处理、图像分析和图像理解具有不同的操作对象。图像处理是比较低层的操作,它主要在图像像素级上进行处理。图像分析则进入了中层,它侧重于对象素集合——目标的表达测量描述。图像理解主要是高层操作,基本上是对从描述中抽象出来的数据符号进行运算推理。

在对图像的研究和应用中,人们往往仅对图像中的某些部分感兴趣。这些部分常称为目标或前景(其它部分称为背景),它们一般对应图像中特定的、具有独特性质的区域。为了辨识和分析目标,需要将它们分离提取出来,在此基础上才有可能对目标进一步利用。图像分割就是指把图像分成各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程。这里特性可以是像素的灰度、颜色、纹理等,预先定义的目标可以对应单个区域,也可以对应多个区域。

图像分割是由图像处理进到图像分析的关键步骤,一方面,它是目标表达的基础,对特征测量有重要的影响。另一方面,因为图像分割及其基于分割的目标表达、特征提取和参数测量等将原始图像转化为更抽象更紧凑的形式,使得更高层的图像分析和理解成为可能。

0.2 图像分割模型概述

虽然图像分割算法可根据基于图像本身结构考虑和基于计算策略考虑这两个准则分成四类:①并行边界类;②串行边界类;③并行区域类;④串行区域类。但是为了概念的单纯和叙述的方便,本节分别从基于图像本身结构、基于计算策略以及基于特定理论工具三个方面概述图像分割模型。

0.2.1 基于线(边界)和基于区域特征的分割模型

基于区域和其边界是一对孪生物的事实,我们既可以首先搜索形成区域的边界,其后再确定此边界所限定的区域,即基于线(边界)特征的分割方法;也可以直接基于区域特征确定区域,即基于区域特征的分割方法。虽然区域分割方法占优势,但是将 $N \times N$ 像元阵列图像变为区域图的处理过程应当包括基于区域和其边界两种,它们统称为区域分割。区域分割后的图像是若干个互不交叠的区域,相邻区域之间属性有明显差异,形成了区域之间的边界。区域是一个方便的、很好的图像中层符号描述,它可以成为目标或景物模型化以及高层理解的基础。目前,有不少图像理解系统都选用区域作为其中层符号描述。

一、基于线(边界)特征的分割模型概述

图像中线类型特征特别引人注目,它是视觉感知的重要线索,这些线类型特征对应图像中特性“有意义”变化的地方,例如,对于一般的灰度图像来说,线类型特征常常对应目标的轮廓线或边界线;对于纹理(或彩色)特性为主的图像,线类型特征则对应纹理(或彩色)特性明显不同的两个区域的边界,或纹理内部细微结构之间的边界等。因此抽取这类线类型特征,无论对于描述目标或者解释图像,都是很重要的。基于线(边界)特征的分割模型就是提取由于灰度变化引起的线类型特征的方法。

对于由像元阵列组成的图像来说,抽取线类型特征可以分为两步:首先抽取反映灰度变化的基本单元——边缘,其次再将这些边缘连接或编组为有意义的线类型特征。通常将前者称之为边缘检测,后者叫边缘连接,或边缘跟踪,或边缘编组等。

为抽取线类型特征,必须要考虑以下几个问题:①在图像中,灰度在空间上以什么形式变化?显然,对不同的灰度变化方式,应采用不同的手段检测相应的变化。一般将灰度变化分为三种类型:阶跃型、尖顶型和圆顶型,分别如图 0.1(a)(b)(c)。这些变化分别对应景物

中的不同的物理状态。例如,阶跃型变化常常对应目标的深度或反射边界,而后两者则常常反映表面法线方向的不连续等。②实际要分析的图像常常是比较复杂的。灰度变化不一定是上述的标准形式。例如,假定灰度呈阶跃变化,而实际的变化出现在一个空间范围上,远非理想的阶跃(通常实际图像都不可能是理想的阶跃)。同时实际图像不可避免的要混有噪声。③如何处理好边缘检测和连接编组之间的关系。通常,简单的边缘检测方法可能使连接编组复杂化,需要根据分析的目的作综合考虑。

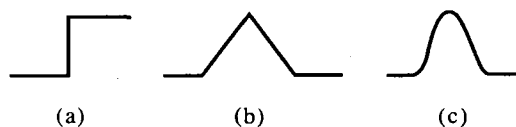


图 0.1 灰度变化的几种类型

二、基于区域特征的分割模型概述

区域分析既是图像分析和理解中的一项基本内容,又常常是关键的第一步处理。图像中的区域指的是一个相互连通的、具有一致的“有意义”属性的像元集。从 $N \times N$ 像元阵列的图像变成若干个互不交叠的区域组成的图,有几种处理途径:一是从全图出发,按“有意义”属性一致的准则,决定每个像元的区域归属,形成区域图,通常称之为区域分割;二是由像元出发,按“有意义”属性一致的准则,将属性接近的连通像元聚集为区域,通常称之为区域增长;三是综合利用上述两个方法,即既存在图像的划分,又存在像元的聚集,这常称之为分开—合并的方法。

那么,选用哪些量作为“有意义”的属性呢?这依赖于待分割图像的具体情况,主要取自各种图像特性。例如,像元本身的灰度值是常用的属性;彩色图像各像元的红、绿、蓝强度值;像元邻域的统计特征、纹理特性等都可作为属性;待分割图像的各种先验知识,也可视情况转变为“有意义”的属性。分割一幅图像不一定只选用一种“有意义”的属性,有时可能选用多种属性,从而形成“属性矢量”。为充分理解视场中的景物,有时需要对同一景物采用多种方式成像。例如,同时采集红、绿、蓝三种图像以形成彩色图像,同时利用不同多光谱波段的图像等。这种条件下,需要综合利用多幅来自同一景物的不同成像的属性,采用不同的组合机理和方法,以达到视场中景物的正确或完善的区域分割。区域分割的定义见下一章。

0.2.2 基于串行和基于并行技术的分割模型

由于串、并行图像分割策略在针对线(边界)和区域的图像分割问题时,具有不同的特点,为了叙述方便,下面从串行边界、区域分割技术以及并行边界、区域分割技术四个方面进行概述。

串行边界分割技术:

串行边界技术指采用串行的方法通过对目标边界的检测来实现图像分割的技术。串行边界技术常通过顺序搜索边缘点来工作,所以有三个关键:①确定起始边界点,顺序搜索将从这里开始;②选择搜索策略,确定先前的结果对选择下一个检测像素和下一个结果的影响,并根据一定的机理依次检测新的边界点;③设定终止条件,并当搜索进程结束时使之停下来。

一般对目标轮廓边界的期望主要有三个:①细,轮廓为单像素宽;②连,连续无间断(对

完全在图像中的目标其边界应闭合);③准,各边界点在正确的位置上。用并行方法检测边缘点和连接边缘点的方法在图像受噪声影响较大时对边界的闭合效果比较差。其中的原因之一就是没有利用各边缘点间的空间关系,所以会出现应连接的但相距较远的同一目标边界上的边缘点连不起来(产生断边现象),而不应连接的但相距较近的不同目标边界上的边缘点被连接起来(产生伪边现象)的情况。这里如果利用有关边界形状和长度等信息对消除断边和伪边有一定的作用。另外,把一个微分算子应用于梯度强度有较宽范围变化的区域会检测出若干行并列的边缘像素。采用在边缘检测的基础上利用串行方式连接边缘点成为闭合边界的方法有可能解决这些问题。正确设计串行边界的算法可以除去虚假的边缘点,直接得到单像素宽而且连续的边界。至于边界的位置,由于串行方式在作出当前的决定时比较充分地考虑和依据了先前得到的结果,所以如果起始点选择正确,则整个边界的位置准确性容易有较高保证。

串行边界分割技术主要可采取两种策略:

- (1)先检查边缘点再连接它们;
- (2)对边界点的检查和连接交叉或结合进行。

串行区域分割技术:

串行区域分割技术指采用串行处理的策略通过对目标区域的直接检测来实现图像分割的技术。

串行分割方法的特点是将整个处理过程分解为顺序的多个步骤逐次进行,其中对后续步骤的处理要根据对前面已完成步骤的处理结果进行判断而确定。这里判断是要根据一定的准则来进行的。一般说来如果准则是基于图像灰度特性的,则该方法可用于灰度图像的分割,如果准则是基于图像的其它特性(如纹理)的,则该方法也可用于相应图像的分割。

串行区域分割中常利用图像多分辨率的表达结构,如金字塔结构。基于区域的串行分割技术有两种基本形式,一种是从单个像素出发,逐渐合并以形成所需的分割区域,另一种是从全图出发,逐渐分裂切割至所需的分割区域。实际中使用的串行区域分割技术有些是这两种基本形式的结合。最后,在图像分割中有许多方法借助了松弛迭代(也称松弛标号)的概念,这类方法总体上是串行迭代,虽然在每一步对像素可进行并行的操作,其直接结果也是分割的区域,其中马尔科夫随机场(MRF)方法将归在第七章讨论。

并行边界分割技术:

并行边界技术指采用并行的方法通过对目标边界的检测来实现图像分割的技术。并行边界技术采用的方法原理与人的视觉过程有些相似。人对场景中亮度或其它性质变化较快的部位比较敏感,一般当人观察场景时总先注意到其中不同物体的相交处,并可以很快得出每个物体各自的轮廓。人在进行这个工作时常常是同步开展的,即同时检测轮廓的各部分。并行边界技术在确定图像中区域边界时也是同步进行的(在确定一组点是否组成一段边界时不需先考虑其它点是否为边界点)。从某种意义上说,图像中大部分信息都集中在区域的边界上,边界的确定对场景的理解非常重要。

采用并行边界技术进行图像分割主要有两个步骤:

- (1)检测目标的边缘点;
- (2)组成目标的边界。

第一个步骤可采用微分算子来直接检测,也可建立边缘模型通过拟合来间接检测。第

二个步骤往往比较复杂。对实际有噪声的图像,仅用微分算子检测出的边缘点并不能组成封闭的边界而将目标从背景中分离出来。但是利用边缘点自身特点进行连接的方法,也可以并行实现。哈夫变换是通过在参数空间的累加运算完成从图像空间(不连续)边缘点获取给定形状封闭轮廓的工作。也可以借助在给定形状的目标边界切线上的信息确定亚像素边界位置的方法。

并行区域分割技术:

并行区域技术指采用并行的方法通过对目标区域的检测来实现图像分割的技术。图像分割的目的是将感兴趣的区域提取出来,所以分割针对区域进行是最直接的方法。

并行区域技术在实际分割中的应用主要有两大类:①阈值化算法;②特征空间聚类。阈值化算法是图像分割算法中数量最多的一类。从某种意义上说,象素特征空间聚类可看作是阈值化技术的推广。事实上有些多维特征空间分类(如彩色图像分割)的问题也可转化为用多次阈值分割来解决。另外,图像阈值化或特征空间聚类的直接结果是把图像中各个区域区分开,但要把其中的目标区域提取出来,还常需要对各区域进行识别标记,这也是采用并行区域分割技术要考虑的一个问题。

0.2.3 基于特定数学或仿生理理论基础的分割模型

图像分割技术的发展与许多其它学科和领域(如数学、物理学、生理学、心理学、电子学、计算机科学等)密切相关。既然图像分割至今为止尚无通用的自身理论,所以,每当有新的数学工具或方法提出来,图像工作者都会试图将其用于图像分割,因而提出了不少特殊的算法。随着各学科许多新理论和方法的提出,不断有许多结合一些特定理论、方法和工具的分割技术产生。例如利用马尔可夫随机场(Markov random field, MRF),隐含马尔可夫模型(hidden Markov models), Gibbs 随机场,模拟退火(simulated annealing),分形(fractal),高斯混合分布(Gaussian mixture), Gabor 滤波器,布朗链(brownian string),专家系统(expert system)等。新的分割算法还在不断涌现。

本书对马尔可夫随机场(MRF)、Gibbs 随机场、模拟退火(simulated annealing)、人工神经网络以及信息论等理论和方法的关于图像分割的基本思路和典型算法进行了比较深入地研究。下面对基于特定数学或仿生理理论基础的图像分割方法进行概述。

一、基于数学形态学的分割技术

形态学一般指生物学中研究动物和植物结构的一个分支。后来人们用数学形态学(也称图像代数)表示以形态为基础对图像进行分析的数学工具。它的基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。数学形态学的数学基础和所用语言是集合论。数学形态学的应用可以简化图像数据,保持它们基本的形状特性,并除去不相干的结构。数学形态学的算法具有天然的并行实现的结构。

数学形态学的基本运算有四个:膨胀(或扩张)、腐蚀(或侵蚀)、开启和闭合。基于这些基本运算还可推导和组合成各种数学形态学实用算法。对某些强噪声图像,基于数学形态学的算法有可能取得较好的效果。

二、借助统计模式识别方法的图像分割技术

模式识别与图像分割的相互关系既可以是目的也可以是手段。模式可定义为对图像中的目标或其它感兴趣部分的定量或结构化的描述。通常一个模式可看作是由一个或多个模式符,也可叫特征组成(或排列成)的。图像中不同的区域具有不同的特性,可看作不同的模

式。一个模式类则是一组具有某些共同特性的模式。计算机模式识别包括用一系列自动技术将给定模式赋予它们所属的类。

模式识别的目的是将不同的模式分类,对图像分割而言,将目标从背景中分割出来就可看作将不同的区域区分出来,不同的区域就可以看作不同的模式或模式类,这里首要的是确定描述区域特性的参数(特征),对每个区域都可确定一个表征区域的特征矢量。

通过图像分割,图像被分成为一系列区域,感兴趣的目标被提取了出来。借助特征测量,可以获得描述目标各个特征的测量结果。统计模式识别就是要根据这些测量结果来将各个目标分类,也就是要把各个目标和它们的特征集中到“最为接近”的类别。这里要注意,一方面图像分割是统计模式识别的基础,对目标的分类是建立在图像分割后提取目标和统计测量基础之上的。另一方面,借助统计模式识别中对目标分类的技术也可以进行图像分割。也就是说,图像分割既可以是模式识别的目的,也可以是进一步图像模式识别(如图像分类)的手段。

三、基于信息论的分割技术

熵是信息论中的重要概念,有许多图像分割算法借助了求熵极值的方式,如最大后验熵法,最小熵相关法,一维最大熵法,二维最大熵法(它具有两种快速算法),二阶局部熵法,条件熵法,块源模型(blocksource model)熵法,最大 Renyi 熵(香农熵的一种参数推广)法(结合了最大熵总数与熵相关)等。本书利用交叉熵作为可分解马尔科夫网的度量并在第五章对此进行了讨论。

四、借助模糊集合和逻辑的图像分割技术

采用不精确的知识表达事件,为此研究者提出了模糊集合的概念。模糊集合理论能较好地描述人类视觉中的模糊性和随机性。在模式识别的各个层次都可使用模糊集合理论,如在特征层,可将输入模式表达成隶属度值(代表某些性质的拥有程度)的矩阵;在分类层,可表达模糊模式的多类隶属度值并提供损失信息的估计。模糊集合理论主要可解决在模式识别的不同层次由于信息不全面,不准确,含糊,矛盾等造成的不确定性问题。基于模糊集合的概念,研究已提出一些新的分割算法。

图像灰度模糊指在确定一个像素是白或黑时的不定性(indefiniteness),空间模糊指在确定图像中区域的几何形状时的不定性。有一些基于直方图的取阈值算法通过最小化灰度模糊性(全局熵,模糊指数等)和几何模糊性(模糊紧凑性)来选取阈值。这些研究中使用了不同形状(如 S 形状——即灰度的变化断面呈 S 形状)的隶属度函数定义模糊目标,在这种情况下隶属度函数值为 0.6(即这个 S 形状的腰部)的点对应可用于图像分割的阈值。

模糊散度可由交叉熵导出,并可以表达图像中的模糊性。它既能定量反映集合内成员对该集合的隶属程度,又能结合概率分布表征两个集合之间的相似程度。

五、基于小波分析和变换的分割技术

小波变换是近年得到广泛应用的数学工具。与傅里叶(Fourier)变换、窗口傅里叶变换(Gabor 变换)相比,小波变换是空间(时间)和频率的局域变换,因而能有效地从信号中提取信息。它通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析,解决了傅里叶变换不能解决的许多困难问题,因而被誉为“数学显微镜”。作为多尺度多通道分析工具,小波变换为信号在不同尺度上的分析和表征提供了一个精确和统一的框架。从图像分割的角度看,小波变换的以下几个优点值得注意: