

一种基于云模型和数学形态学的边缘检测算法^{*}

谢磊 汪林林 王佐成

(重庆邮电大学软件学院 重庆 400065)

摘要 针对图像信息的不确定性,本文提出了一种基于云模型并结合数学形态学的边缘检测算法。该算法首先提取灰度图像的若干不确定面云,基于面云之间相邻、包含和相交的位置关系,利用云计算提取得到线云,使用数学形态学的边缘检测算子,对多种类型的边缘进行检测。最后进行了仿真试验,结果表明该算法对不同类型的边缘有一定的适宜度。

关键词 边缘检测,云模型,数学形态学,不确定性

A Method of Edge Detection Based on Cloud Model and Morphology

XIE Lei WANG Lin-Lin WANG Zuo-Cheng

(Software College, Chongqing University of Post and Telecommunications, Chongqing 400065)

Abstract Aiming at the uncertainty of image information, a kind of method of edge detection based on cloud model and morphology is put forward. In this method, the image is divided into many uncertain curve clouds. Based on the position relationship of these curve clouds, the line clouds are generated by using cloud operations, and then several kinds of the edge of the image can be detected through some morphological operations. Finally, some edge detection experiments are carried out. The results show this method is effective to the different edges.

Keywords Edge detection, Cloud model, Morphology, Uncertainty

图像边缘可以定义为图像局部特征的不连续性,表现为图像灰度级的突变,纹理结构的突变和彩色的变化等,图像的边缘信息包含了大部分的图像信息。在计算机视觉及图像处理系统中,许多问题的解决都是从边缘检测开始的。常用的边缘检测方法有差分算子法、广义 Hough 变换法、最佳曲线拟合法等^[1]。然而图像信息的处理过程中存在很多的不确定性,而且人类对知识的认识也往往表现为不确定性。李德毅教授提出了定性定量不确定性转换模型——云模型,云模型能很好地表达概念的不确定性、降低概念分层的不确定性,可以有效地研究图像分割中的不确定性问题^[2]。

1 云模型

云是用语言值描述的某个定性概念与其数值表示之间的不确定性转换模型,或者简单地说云模型是定性定量间转换的不确定性模型。设 U 是一个论域 $U = \{x\}$, T 是与 U 相联系的语言值。 U 中的元素 x 对于 T 所表达的定性概念的隶属度 $Cr(x)$ 亦即 x 与 T 的相容度,是一个具有稳定倾向的随机数,隶属度在论域上的分布称为隶属云^[3],简称为云。

$Cr(x)$ 在 $0, 1$ 范围取值,云是从论域 U 到区间 $0, 1$ 的映射,即:

$$Cr(x) : U \rightarrow 0, 1$$

$$\forall x \in U \quad x \rightarrow Cr(x)$$

云的数字特征用期望值 Ex (Expected Value)、熵 En (Entropy)、超熵 He (Hyper Entropy) 3 个数值来表征。期望值 Ex : 是概念在论域中的中心值,是最能代表这个定性概念的值,它 100% 地隶属于这个定性概念。熵是定性概念模糊

度的度量,反映了在论域中可被这个概念所接受的数值范围,体现了定性概念亦此亦彼性的裕度。熵越大,概念所接受的数值范围也越大,概念越模糊。超熵 He : 是熵 En 的熵,反映了云滴的离散程度。超熵越大,云滴离散度越大,隶属度的随机性越大,云的“厚度”也越大。云模型的 3 个数字特征值把模糊性(定性概念的亦此亦彼性)和随机性(隶属度的随机性)完全集成到一起,构成定性和定量相互间的映射,作为知识表示的基础^[3]。

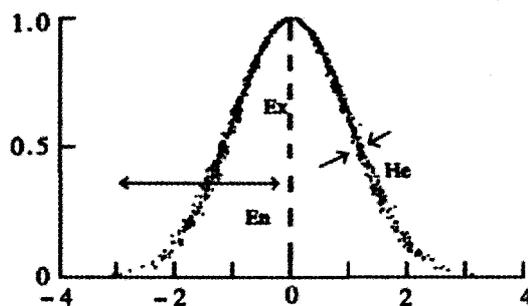


图 1 云图

正态云模型在表达语言值时最常用,其数学期望曲线 MEC 为

$$MEC_A(X) = \exp[-(x - Ex)^2 / 2En^2]$$

给定正态云的 3 个数字特征值 (Ex, En, He), 可生成任意个数云滴组成的正态云。云的腰部、顶部、底部等并不需要精确地定义, 3 个数字特征值足以很好地描述整个云的形态。

^{*} 重庆市自然科学基金资助项目(CSTS2005BB2065)。谢磊 硕士研究生,主要研究方向为遥感图像处理和操作系统;汪林林 教授;王佐成 副教授。

2 数学形态学

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表示以形态为基础对图像进行分析的数学工具。其基本思想是用具有一定形态的结构元素去度量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,保持它们的基本特性,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结构^[4]。

在数学形态学中,二值图像 A 和结构元素 B 的腐蚀运算定义为: $A \ominus B = \{x | (B)x \subseteq A\}$, 其中 $(B)x$ 是结构元素 B 的 x 位移, 腐蚀的结果是 $(B)x$ 完全被包含在 A 中原点集合。而膨胀运算定义为: $A \oplus B = \{x | (-B)x \cap A \neq \emptyset\}$, 其中 $(-B)x$ 是 B 关于原点映射后的 x 位移, 该式表明膨胀过程是 B 首先做关于原点的映射, 然后平移 x , A 被 B 的膨胀过程是所有 x 平移以后至少有一个非零公共元素。

3 算法原理

将云模型引入到边缘检测中, 可用线云和面云表达不确定线和面。不确定线可以用三个参数来表达 $L_i = (Ex_i, En_i, He_i)$, Ex_i 是线云的核, En_i 和 He_i 分别为线云的熵和超嫡, 云核是一条直线或者曲线。类似地可以用 $P = (Ex_p, En_p, He_p)$ 表示面云, Ex_p 是面云的核, 在 $x-y$ 平面的投影是一个多边形^[5]。

灰度图像 $f(x, y)$ 的边缘可以认为是由若干不确定面产生彼此相交产生的, 因此面云是进行边缘检测的基础。算法的思想是: 提取灰度图像的若干不确定面云, 基于面云之间相邻、包含和相交的位置关系, 利用云计算提取得到线云, 使用数学形态学的边缘检测算子, 对多种类型的边缘进行检测。

1) 面云的提取。基于图像灰度直方图将图像划分为 n 个集合 $S_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。以集合中的像素为起始位置, 对整个图像进行扫描, 利用区域生长算法思想^[4], 考虑每个像素的邻域的相容性, 可对邻域像素归并不归并, 若邻域像素被归并, 以该像素为中心递归进行归并搜索, 直到无法继续归并。值得注意的是, 已经归并过的像素不再作为其位置进行搜索。归并扫描结束后, 得到区域集合 $R_i (i=1, 2, \dots, k)$ 。

以 R_i 集合作为云滴, 使用云发生器^[3], 得到面云 $P_i (i=1, 2, \dots, k)$ 。

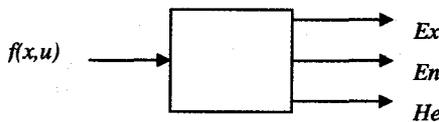


图2 云发生器

云发生器算法如下(其中 $mean$ 和 $stdev$ 分别为求均值和标准差的函数):

$$(1) Ex = mean(x_i)$$

$$(2) En = stdev(x_i)$$

$$(3) En'_i = \sqrt{\frac{-(x_i - Ex)^2}{2 \ln(\mu_i)}}, He = stdev(En'_i)$$

云发生器产生的无数个面云仍然属于原始数据, 可能含有“噪声云”, 因此必须进行紧缩合并处理。

若给出了几个关键的云模型, 则可以用虚云方法生成概

念层次结构, 即用浮动云方法给定的概念层次上论域的空白区生成云模型, 用综合云方法生成高层次概念, 用分解云方法生成低层次概念, 三者相结合生成概念层次结构。基于云模型的概念层次结构是对论域的一种软划分, 相邻云之间允许有重叠, 高概念层次上的一朵云包含低概念层次上几朵云的信息, 云包含低概念层次上几朵云的信息, 低概念层次上的一朵云可能被高概念层次上的多朵云包含, 由于云的特性, 云模型重叠区范围内的数值在不同的机会可能属于不同的云, 在非重叠区范围内的数值在不同的机会属于同一朵云的隶属度也不同, 因此基于云模型的概念层次结构与传统的概念层次结构有显著的区别, 是一种“软”的、更广义的泛概念层次结构^[3]。

云的综合运算是将两朵或多朵子云进行综合, 生成一朵新的高层概念的父云, 云的综合运算的本质为提升概念, 将两个或两个以上的同类型语言值综合为一个更广义的概念语言值^[2]。假设两个待合并的云数字特征分别为 (E_{p1}, S_{p1}, H_{p1}) 和 (E_{p2}, S_{p2}, H_{p2}) , 则根据云合并算法, 合并后的云的数字特征为:

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} \quad S_p = S_{p1} + S_{p2}$$

$$H_p = \frac{H_{p1} S_{p1}}{S_{p1}} + \frac{H_{p2} S_{p2}}{S_{p2}}$$

2) 线云的生成。对面云进行运算, 相交生成的新的云是一个线云。假设两个面云为 (E_{pA}, S_{pA}, H_{pA}) 和 (E_{pB}, S_{pB}, H_{pB}) , 则两者相交后生成的线云数字特征为:

$$E_l \cong \frac{1}{2} |(E_{pA} - 3S_{pA}) + (E_{pB} + 3S_{pB})|$$

$$S_l \cong \frac{1}{6} |(E_{pB} + 3S_{pB}) - (E_{pA} - 3S_{pA})|$$

$$H_l = \max(H_{pA}, H_{pB})$$

3) 边缘的提取。对于图像而言, 不同的像素与线云的核心概念距离都不尽相同, 可以利用数学形态学的边缘检测模板算子对若干线云进行扫描, 以每个像素对各个线云隶属度为模板运算的因子, 可以对不同类型的边缘进行优化提取。为了提高效率, 只对线云附近的像素进行模板运算, 而高线云核心概念较远的像素则不必予以处理。下面对数学形态学的边缘检测算子进行介绍。

基于数学形态学基本运算, 灰度图像 f 的边缘提取可以先令 f 被 B 腐蚀, 然后求 f 和其腐蚀结果的差, 亦即:

$$e_1(f) = f - (f \ominus B)$$

其中 $e_1(f)$ 为 f 的内边缘, 使用:

$$e_2(f) = (f \oplus B) - f$$

则可以提取图像 f 的内边缘, 若希望提取得到较宽边缘而不希望边缘中心位置发生改变, 则可以使用:

$$e_3(f) = (f \oplus B) - (f \ominus B)$$

以上三种边缘提取的算式各自适应不同情况的图像, 特别是在遥感图像中, 包含有不同特征的丰富的地理信息, 如某些细小的公路边缘, 其边缘密度大, 边缘宽度通常很小, 这时采用合适的算式检测效果会更好。采用 3×3 的结构元素 B , 对三种运算式进行试验性的对比, 图3局部描绘的是 f 原图, 以及 f 被 B 的膨胀和 f 被 B 的腐蚀曲线, 我们可以绘制出以上三个算式的对比曲线, 如图4。从曲线图可以看出, 经过 $f \oplus B - f$ 算式得到的边缘出现了几次高灰度值, 在 f 为低灰度值的第一个凹点出现了高灰度值, 出现了一个检测错位; 而

(下转第 273 页)

11 Carver R, Lei Y. A general model for reachability testing of concurrent programs. In: Davies J, et al. ed. Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, Formal Methods and Software Engineering. Seattle, WA, USA; Springer, 2004. 76~98

12 Lei Y, Carver R. A New Algorithm for Reachability Testing of Concurrent Programs. In: Proceedings of the 16th IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE'05). NW Washington, DC USA, 2004. 346~355

13 Lei Y, Carver R H. Reachability testing of concurrent programs. IEEE Transactions on Software Engineering, 2006, 32(6): 382~403

14 Li S Q, Chen H Y, Sun Y X. A framework of reachability testing for Java multithread programs. SMC(3) 2004. 2730~2734

15 Godefroid P. Software Model Checking: The VeriSoft Approach. Formal Methods in System Design, 2005, 26(2): 77~101

16 Havelund K, Pressburger T. Model Checking Java Programs Using Java PathFinder. Int'l J Software Tools for Technology Transfer (STTT), 2000, 2(4): 366~381

17 Flanagan C, Godefroid P. Dynamic Partial Order Reduction for Model Checking Software. In: Proceedings of the 32nd ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages. New York, NY USA, 2005. 110~121

18 Taylor R N, Levine D L, Kelly C D. Structural Testing of Concurrent Programs. IEEE Transactions on Software Engineering, 1992, 18(3): 206~214

19 Ulrich A, König H. Specification-based Testing of Concurrent Systems. In: Proceedings of the IFIP Joint Int'l Conf Formal Description Techniques and Protocol Specification, Testing, and Verification (FORTE/PSTV '97). London, 1997. 7~22

(上接第 231 页)

算式 $f - f \ominus B$ 和图像的真实边缘较为吻合, f 的第一个低灰度值和其后的几个高灰度值都成功的被检测到, 由于经过腐蚀运算后, 目标区域中的灰度值变化较小, 而边缘部分的灰度值降低较多, 然后用原图像减去腐蚀运算的结果这样边缘部分的灰度值就会明显比区域内的灰度值高, 亦即边缘部分的灰度值得到了提高, 而非边缘部分的值变化幅度不太大, 也就起到了边缘检测的效果。 $[f \oplus B] - [f \ominus B]$ 算式称为形态学梯度计算, 从曲线可以看出, 该算式对于边缘的细节并不敏感, 并不适合检测细小的边缘和边缘密度比较大的图像^[6]。

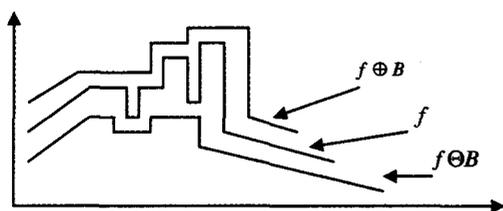


图 3 膨胀、腐蚀和原始曲线的对比

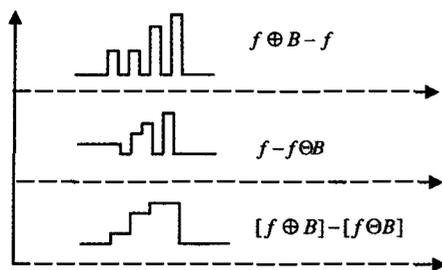


图 4 三种算式的对比

总的来说, 分别采用 $[f \oplus B] - [f \ominus B]$ 、 $f \oplus B - f$ 和 $f - f \ominus B$ 三种形态学算子对线云和其周围的像素进行模板运算。三个算式中, $f \oplus B - f$ 和 $f - f \ominus B$ 算式适合于检测较细并且密集的边缘, 而 $[f \oplus B] - [f \ominus B]$ 提取的边缘较厚, 适合于对不太密集且较厚的边缘进行提取。

4 试验分析

选取某城市的郊区机场遥感图像作为样本如图 5(a) 所示, 将本文算法对其进行进行试验。图 5(b) 是 Canny 算法的检测结果, 图 5(c) 是 Prewitt 算法的检测结果, 图 5(d)~图(f) 是本文算法的检测结果, 其中图 5(d) 是 $[f \oplus B] - [f \ominus B]$ 算子对线云运算提取的结果, 图 5(e) 是 $f \oplus B - f$ 的提取结果, 图 5(f) 是 $f - f \ominus B$ 的提取结果。

根据对图 5 不同算法的检测结果对比分析可以看出, 本

文算法对于机场跑道、密集的公路和住宅区、海岸线检测的检测结果都较为理想。对线云进行模板运算时, $[f \oplus B] - [f \ominus B]$ 更适合于提取稀疏的厚边缘, $f \oplus B - f$ 和 $f - f \ominus B$ 则更适合于检测密集型边缘。

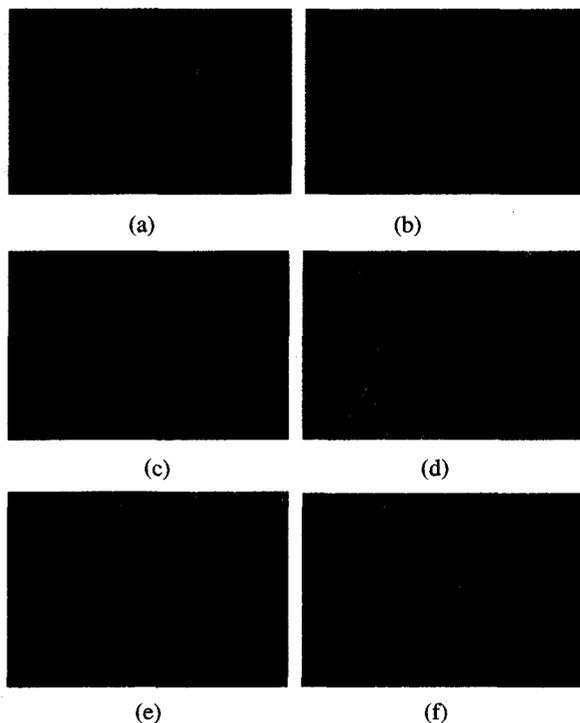


图 5 图像边缘检测对比图

结束语 利用云模型构建面云并计算面云之间相交得到的线云, 可以对包含不确定信息的图像进行边缘检测。离云核心概念越近, 其确定性越高, 再结合数学形态学的检测算子, 以隶属度作为因子进行模板运算, 在云模型解决图像不确定性因素的同时, 还能对兴趣目标的边缘进行分类检测。

参考文献

1 雷丽珍. 数字图像边缘检测方法的探讨[J]. 测绘通报, 2006, 3: 40~42

2 秦昆, 李德毅, 许凯. 基于云模型的图像分割研究[J]. 测量信息与工程, 2006, 31(5): 3~5

3 邱凯昌, 李德毅, 李德仁. 云理论及其在空间数据发掘和知识发现中的应用[J]. 中国图像图形学报, 1999, 11(4): 930~935

4 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001

5 薛丽霞, 王佐成, 李永树, 汪林林. 基于云模型的模糊边缘检测[J]. 西南交通大学学报, 2006, 41(1): 85~90

6 王宇, 王乘, 刘吉平. 一种基于数学形态学的遥感图像边缘检测算法[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版), 2003, 15(2): 57~60