

基于一种新的目标识别的边缘爬行算法

王燕清¹ 陈德运¹ 石朝侠² 刘泊³ 房国志³

(哈尔滨理工大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150080)¹

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)²

(哈尔滨理工大学测控技术与通信工程学院 哈尔滨 150080)³

摘要 针对机器人目标识别的实时性、快速性和鲁棒性特点,依据物体边缘大部分区域的方向缓变原理,提出了一种基于记忆的边缘爬行改进算法。爬行搜索方法的一个明显缺点是“爬虫”容易掉进“陷阱”,即围绕某个局部小区域重复爬行。记忆搜索方法则有效克服了爬行搜索方法容易掉进“局部陷阱”的不足。在边缘爬行的同时,通过标号将颜色相近的不同物体分割出来。实验结果表明,与传统方法比较,该方法的边缘线更加完整、清晰,而且缩短了处理图像的时间,使目标识别的实时性和鲁棒性得到了优化。

关键词 边缘检测,边缘爬行,图像分割,机器视觉,目标识别

中图法分类号 TP242.6+2 文献标识码 A

Object Recognition Based on a New Method of Edge Crawling

WANG Yan-qing¹ CHEN De-yun¹ SHI Chao-xia² LIU Bo³ FANG Guo-zhi³

(School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)¹

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)²

(School of Measurement-Control Tech & Communications Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)³

Abstract According to the characteristics of real-time, rapidness, robustness in object recognition and the slow changing of the most edge directions, a new memory-based edge crawling method was proposed in this paper. An obvious flaw of the edge crawling was that the bug was easy to be trapped and kept crawling around a certain local region. Memory-based searching algorithm could remedy the shortcoming of the edge crawling effectively. This method segmented different objects having the similar colours by marking the extracting edge during the course of edge crawling. The experimental results demonstrated that, compared with traditional approaches, the adopted approach was able to get more complete and clear contour, shorten the time of image processing and therefore optimize the accuracy and robustness of object recognition.

Keywords Edge detection, Edge crawling, Image segmentation, Robot vision, Object recognition

边缘检测是图像处理与识别中最基础的内容之一。一幅图像就是一个信息系统。其大量信息是由它的轮廓边缘提供的。因此,边缘提取与检测在图像处理中占有很重要的地位,其算法的优劣直接影响着所研制系统的性能。

如今,边缘检测首先要解决的问题是边缘像素的不连续性,由于不连续的边缘构成的图像没有什么实际意义,必须通过附加处理将边缘聚集成更适于解释过程的结构形式。同时还要解决边缘检测中的过度检测、欠检测、伪检测等问题。边界检测算法中,往往以现有知识为前提,增加或简化处理过程和计算量,以求得到好的效果。在图像的边缘检测中有如下一些要求:1)首先能够正确地检测出有效的边缘。2)边缘定位的精度要高。3)检测的响应最好是单像素的。4)对于不同尺度的边缘都能有较好的响应并尽量减少漏检。5)对噪声应

该不敏感。6)检测的灵敏度受边缘方向影响应该小。这些要求往往都是矛盾的,很难在一个边缘检测器中得到完全的统一。所以,基于边缘的图像分割仍然是当前图像研究中的难题,目前研究者们正试图在边缘提取中加入高层的语义信息。

1 边缘检测的常见方法

1.1 经典的边缘检测方法

经典的边缘检测是以原始图像为基础,考察图像的各个像素的某个领域内灰度阶跃变化,利用边缘邻近一阶或二阶方向导数变化规律检测边缘。常用的边缘检测方法有:差分边缘检测、梯度边缘检测、Roberts 边缘检测算子、Sobel 边缘检测算子、Prewitt 边缘检测算子、Laplace 边缘检测算子等。经典边缘提取算子共同的优点是计算简单,速度较快,缺点是

到稿日期:2009-09-28 返修日期:2009-12-14 本文受国家自然科学基金重点项目(90820306),黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11541050,11541040),哈尔滨市青年科技创新人才基金项目(2008RFQXG067)资助。

王燕清(1977—),女,博士生,讲师,主要研究方向为图像处理、模式识别等,E-mail:wyq0325@126.com;陈德运(1962—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为探测与成像技术、图像处理。

对噪声的干扰都比较敏感。在实际应用中,往往要先经过图像增强、去噪等过程,然后再采用经典的边缘提取算子提取图像边缘。

1.2 其它边缘检测算法

人们对于图像边缘检测的要求越来越高,不但要求能检测出图像边缘,而且对性能指标有了新的更高的要求,同时检测所针对的对象也越来越广泛,如对于性能指标,在有些场合下需要定位在亚像素^[1]精度上,也有要求能对强噪声背景下的弱目标^[2]作检测,至于检测对象,则扩展到三维图像^[3]、遥感图像^[4]、合成孔径雷达图像^[5]以及运动图像^[6]。然而,传统的方法已经逐渐不能满足这些要求,针对这一情况,越来越多的科研人员尝试着将最新的一些理论结合到边缘检测中,并取得了很好的成效。新的算法中包括的技术和理论有数学形态学^[7,8]、统计学^[9]、神经网络^[10]、模糊理论^[11]、小波分析和变换^[12]、遗传算法^[13]等。

2 边缘爬行算法模板的构造

本文提出用边缘爬行的方法来解决不连续的边缘点链接问题,以及通过找出高细节区周围的区域,以便间接地将高细节区围成一个区域。该算法是边缘检测的后续处理,适合于多种应用目的,同时还可以嵌入到其它利用边缘信息的分割算法中。经典的边缘提取模板算子,如 Roberts 算子、Sobel 算子等,都具有水平和垂直两个方向的模板,其模板方向仅表示灰阶变化的梯度方向,而不是图像的实际边缘方向。该算法在此基础上作了一些改进,构造了一个 8 方向模板,并使每个模板表示的方向为图像边缘的实际边缘方向,如图 1 所示。

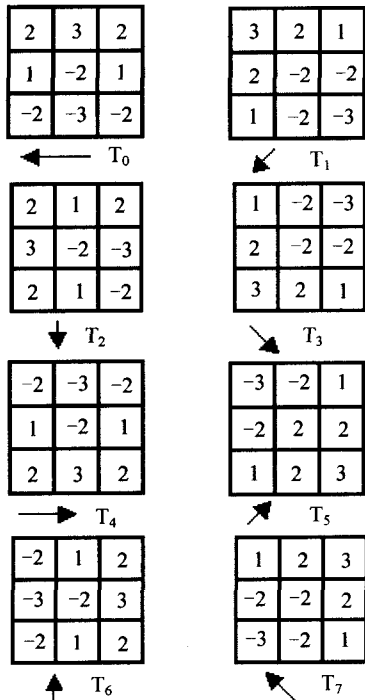


图 1 边缘提取的八方向模板

2.1 算法的实现基本原理

物体的边缘通常是连续的,边缘点之间有一定的约束关系;而噪声是随机的,因此不存在这个约束条件。任取一个边缘点,在该边缘点附近沿其边缘方向总能找到另一个边缘点,且这两个边缘点的灰阶和方向走向不会相差太大。但一个噪

声点沿其边缘方向(用图 1 给出的模板得到的方向)很难找到与其灰阶和方向都相差不大的点。用相邻点相关的方法^[14]来寻找边缘,同时,采用相关的原则来继续加以约束。若一个边缘点沿其边缘方向找到了另一个边缘点,这时并不能确定这个边缘点就是真实的边缘点,必须沿着边缘方向连续跟踪 N 个点(N 的值由程序决定)后才能确定下来,这样就可以进一步减少噪声点。噪声点虽然有可能也符合上述的相邻点灰阶值变化不大的条件,但是噪声点一般不符合相关条件,不存在在连续的噪声点。

2.2 算法的描述

一幅 $M \times N$ 大小的图像可以用一个二维的灰度矩阵来表示其灰度值,即:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \cdots & x_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

进行边缘提取时,就是用图 1 的 8 个模板对图像 X 进行逐点计算,并且取最大值作为该点的新的灰度值。该最大值对应模板所表示的方向为该像素点的边缘方向。即:

$$\begin{cases} Y_i = T_i \cdot X_i' \\ Y_{\max} = \max(Y_i) \end{cases} \quad (i=0,1,2,\dots,7) \quad (2)$$

式中, T_i 表示上述第 i 个模板,因为 T_i 是个 3×3 的邻域模板,所以 X_i' 是图像 X 中的一个 3×3 的邻域; $Y_{\max}$ 表示 3×3 邻域中间像素点的新的灰度值(简称新值), $Y_{\max}$ 的方向表示该像素点的边缘方向。这样就可以得到用新值构成的一幅新的图像。在新得到的图像中的每个像素点都带有方向信息,通过综合运用每个像素点所得到的新值和其方向信息来判断其是否为边缘点。

首先给出一个门限值 $G1$, 图像中的像素点的新值如果大于 $G1$, 则可以初步确定为边缘点, 小于 $G1$ 的新值被判断为非边缘点。但噪声点也具有跳变特性, 其新值很大, 也会被误判成边缘点。所以必须增加约束条件, 对已确定的边缘点作进一步的判断。

如图 2、图 3 所示, 假定 $Y1$ 是初步确定的边缘点, 其边缘方向为“6”方向, 其灰度值为 $IY1$ 。则边缘提取的过程为: 沿像素点 $Y1$ 的边缘方向“6”寻找到像素点 $Y2$, 如果 $Y2$ 的灰度值 $IY2$ 小于门限值 $G1$, 即 $Y2$ 不是边缘点, 那么根据边缘是连续的这个约束条件可以确定 $Y1$ 也不是边缘点; 如果 $IY2$ 大于 $G1$, 则判断 $Y1$ 和 $Y2$ 的灰度差值是否小于门限值 $G2$, 及其方向差是否小于 90° 。如果条件不满足, 则像素点 $Y1$ 不是边缘点, 否则, 像素点 $Y1$ 可能为边缘点, 建立标记, 并且沿着 $Y2$ 的边缘方向以上述相同的方法查找其后续边缘点; 如果连续 5 个点都能找到其后续边缘点, 则确定 $Y1, Y2, Y3$ 为边缘点, 否则就判断 $Y1$ 不是边缘点, 给予去除。这样就可以查找出一条完整的边缘。在这个算法中关键是两个门限值 $G1$ 和 $G2$ 的确定。当特定目标的边缘点与图像点总数的比值可视为常量时, 假定为 X , 对一幅 $M \times N$ 大小的图像(假设 M 大于或等于 N), 其边缘点不会超过 $M \times N \times X$ 个点。所以在确定门限值 $G1$ 时, 可以先确定一个比较低值, 然后以边缘点不超过 $M \times N \times X$ 个点的约束条件来判断。如果边缘点超过 $M \times N \times X$ 个点, 增加门限值, 一直到边缘点符合条件为止, 这样就可以选取一个比较合适的门限值。对门限值 $G2$, 要在确

定 G1 后才能确定。在确定 G1 后,先对新值图像初步确定边缘点,然后,把初步确定为边缘点的像素取出来,进行统计,并求出方差值作为门限值 G2。因为在假定初步确定下来的都是边缘点时,它们的像素值不会相差太大,理论上它们只在期望值附近作微小的波动,所以用方差作为门限值 G2 是合理的,实践证明也是可行的。

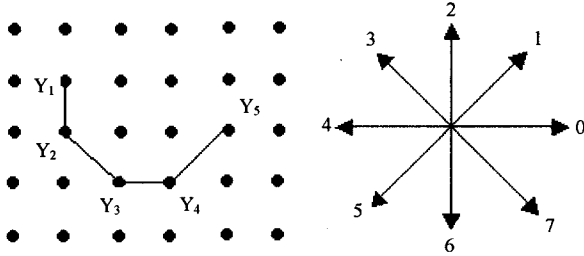


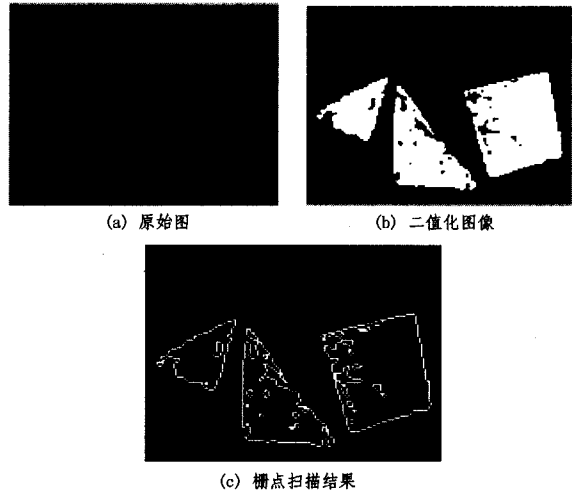
图2 新值像素点示意图 图3 边缘方向示意图

但是这种门限值确定方法要求目标在整个图像中的比例应该限制在一定的范围之内,而所拍摄的图像中目标占整幅图像的比例是变化的,因而具有一定的局限性。

3 边缘爬行算法

人能够准确识别目标的原因不仅由于目标的颜色,而且也由于目标的形状。这是因为在特定的情况下,由于环境光照变化导致物体表面颜色变化,人眼对其变化也无法识别,但是,人能够通过分割物体与背景的边缘来准确识别目标。由于绝大部分实用的边缘检测都需要庞大的计算,这在一定程度上难以保证机器人目标识别的实时性。因此,想要采用基于颜色和形状信息相结合的识别方法,减少边缘检测的计算量成为一个势在必行的课题。

进行形状识别的前提是近似或者准确提取出目标的边缘线。与以往的边缘检测方法不同,本文采用的边缘爬行算法并不依赖拍摄图像在各方向的梯度变化,而是以基于颜色识别的二值化结果为基础。对二值化图像进行边缘检测的一种最简单的方法就是栅点扫描。这种方法的缺点是:1)当图像中有多个同色物体干扰时无法确定每一边缘的归属。2)当环境照度发生变化时,二值化图像将会产生边缘或内部腐蚀,这种方法无法排除内部空洞的影响,如图 4(c)所示。



(a) 原始图 (b) 二值化图像 (c) 栅点扫描结果

图4 栅点扫描法边缘检测图

3.1 边缘爬行算法原理

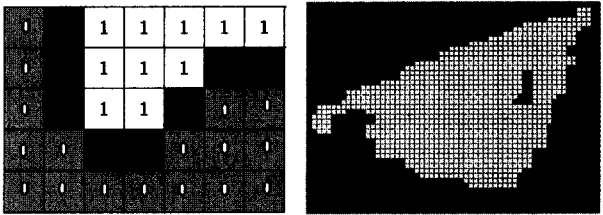
算法实现的基本原理是:对于二值化图像,边缘发生在 0

和 1 的交界处,由于目标图像的连续性,从边缘的某一点出发,沿边缘朝一个方向搜索,总能爬行到边缘的终点。利用这种方法搜索,能够很容易地把图 4(a)中的 3 个同色物体的边缘线分开,利用边缘线进行形状识别,便可以确定目标所在的位置。

3.2 算法的实现过程

边缘爬行算法分为如下几个步骤:

Step1 对 $M \times N$ 图像进行二值化处理,得二值化矩阵 X_{ij} ,其中目标标号为 1,背景标号为 0。把标号为 1,且四邻域至少有一点为 0 的点定义为边缘点,如图 5(a)中标号为 2 的点。



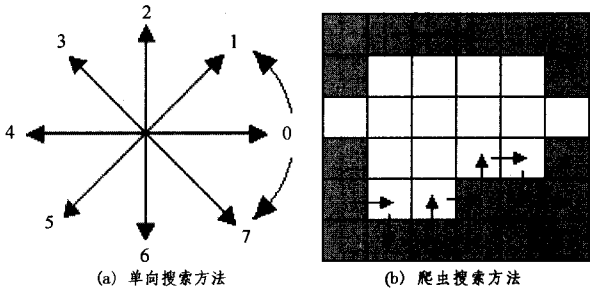
(a) 边缘点的确定 (b) 边缘爬行示意图

图5 边缘爬行算法中边缘点的检测

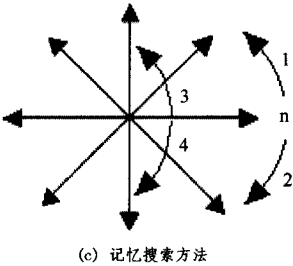
Step2 对二值化图像从左到右、从下到上开始进行栅点扫描,把遇到的第一个边缘点作为起始点,然后进行爬行搜索,如图 5(b)所示。

Step3 从起始点开始搜索新的边缘点,记录起始点坐标并标号为 mark,然后对新点的邻域进行搜索,依次标号为 mark 直到回到出发点或无法前进为止。

Step4 对标号 mark 加 1,从上一个起始点开始进行新的栅点扫描,直到图像扫描结束。



(a) 单向搜索方法 (b) 爬虫搜索方法



(c) 记忆搜索方法

图6 搜索方法的改进

图 6 给出了 3 种不同的边缘点搜索方法,其中,单向搜索方法是从 0~7 的某一方向出发,沿顺时针或逆时针方向进行搜索的方法。爬虫搜索方法是按照遇黑左转遇白右转的原则或相反原则进行搜索的一种方法。本文针对前两种方法的不足,提出了一种记忆搜索方法。所谓记忆搜索方法就是优先按照上一步的方向进行搜索,假设方向为 n ,如果没有找到,就分别沿方向 $n-1$ 和 $n+1$ 进行搜索,如果再没有找到,就分

别沿方向 $n-2$ 和 $n+2$ 进行搜索,以此类推,直到搜索完 8 个方向为止。记忆搜索方法提出的依据是基于这样一个假设:物体边缘的大部分区域的方向是缓变的。

爬虫搜索方法的一个缺点是“爬虫”容易掉进“陷阱”,即围绕某个局部闭合小区域重复爬行,回不到起始点。后来人们对这种方法进行了改进,当“爬虫”掉进“陷阱”后,“爬虫”返回起始点,重新选择起始点和方向继续爬行。然而,当目标边缘存在多个陷阱时,“爬虫”需要重复寻找起始点,这样就降低了搜索效率;并且,当出现同色物体的干扰时,这种方法无法在边缘搜索的同时确定边缘的归属。记忆搜索方法则克服了爬虫搜索方法的上述不足,即:记忆搜索方法的陷阱远少于爬虫搜索方法。并且即使爬虫搜索方法在理想条件下(忽略陷阱的影响),记忆搜索的速度也优于前者。图 7(a)和 7(b)分别给出了两种搜索方法的性能比较,在图中白色区域为形状不规则目标,灰色区域为背景,爬虫法完成一次搜索需要 80 步,记忆法完成一次搜索需要 46 步。假定图 7(a)中的深黑色块处为目标,则将会是爬虫的陷阱,但对于记忆法来说没有任何影响,由此可见,记忆法比爬虫法具有更好的适应性和快速性。

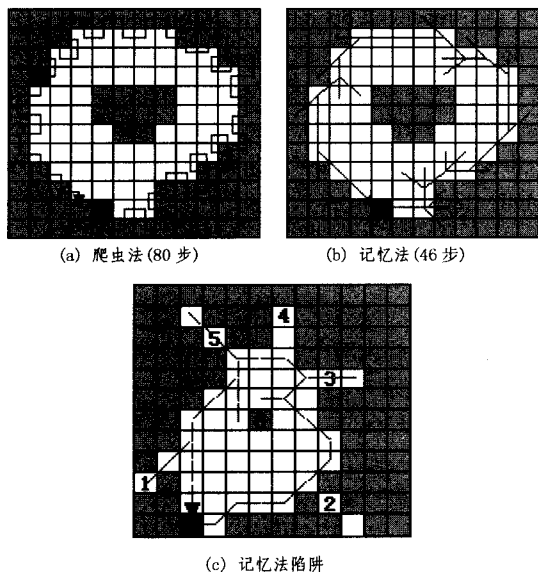


图 7 两种搜索方法的性能比较及陷阱

记忆法同样具有陷阱,如图所示,但这种陷阱不常见,并且可以克服。如果记忆搜索方法按规定的方向进行搜索,当搜索的终点既没与起始点重合,又不能继续搜索的时候,则认为进入了陷阱。图 7(c)给出了几种可能出现的陷阱,在搜索的过程中,点 1~6 为可能的陷阱,是否转变为真的陷阱取决于在初始点开始扫描的方向。文献[14]中的解决方法为遇到陷阱按原路返回,如果在规定的步数内还没有找到边缘点,就返回初始点沿反方向搜索。究其本质,这种方法的根本是避开陷阱而不是消除陷阱,如果在两个搜索方向上同时出现陷阱将会导致搜索失败。并且,重新搜索将会导致标号混乱,这就需要在边缘搜索完之后再进一步确定边缘的归属,势必会影响图像处理的快速性。

根据图 7(c)可以把陷阱分为外部陷阱(1,2,3,4,5)和内部陷阱(6)两种,其中外部陷阱由孤立点组成,消除方法是去除毛刺,内部陷阱由孤立区域组成,消除方法时空洞填充。由于此方法在边缘检测的同时,对物体也进行了标号,因此可以

将同色的不同物体的边缘快速地分割出来,如图 8 所示。

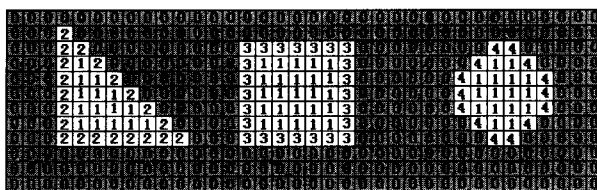


图 8 边缘爬行法对物体进行标号

4 边缘爬行法的实验比较结果

图 9 给出了利用边缘爬行法进行边缘线检测的一个实例,在实验中,目标(矩形色块)与其它同色的色块放在一起,从图 9(a)可以知道,目标的中心能够被很好地标定出来;图 9(b)则给出了未消除陷阱时的边缘线检测结果;在图 9(c)中由于消除了陷阱,边缘线能够被完整地跟踪出来,并且克服了目标内部空洞对搜索结果影响;由于边缘搜索一次完成,因此这种搜索方法属于串行方法,但其计算量要比栅点扫描法小得多,因而提高了边缘检测的快速性。

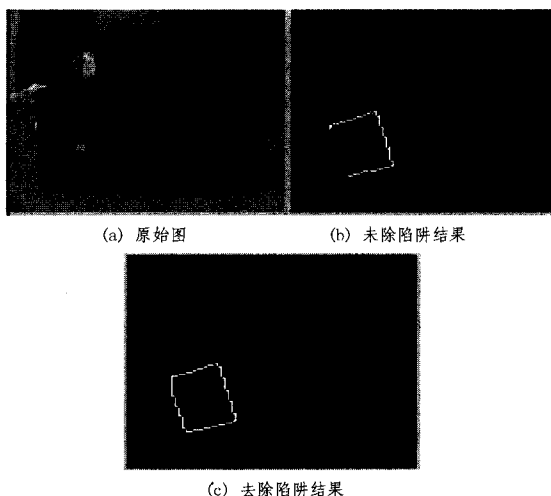


图 9 边缘线检测结果

结束语 通过对几种常用的边缘检测算子的归纳总结,对边缘爬行算法进行了改进,采用记忆搜索方法进行目标边缘线的跟踪,减少了运算时间。针对边缘搜索时出现的陷阱现象进行了具体的讨论,把陷阱分为外部陷阱和内部陷阱两种,不同的陷阱类型采用了不同的消除方法。由于在边缘检测的同时,对物体也进行了标号,因此可以将同色的不同物体的边缘快速地分割出来,这使基于颜色和形状特征相结合的目标识别方法应用于自主移动机器人成为可能。

参考文献

- [1] 巴本冬,吴晓娟,等.一种快速医学图象亚像素边缘检测方法[J].山东大学学报:工学版,2005,35(5):63-67
- [2] 孙红光,李勇.基于双正交小波弱目标边缘提取方法[J].长春理工大学学报,2004,27(2):53-55
- [3] 周术诚,耿国华.基于自适应阈值的三维图象多尺度边缘检测[J].西北大学学报:自然科学版,2006,36(3):393-397
- [4] 金晟业,陈圣波,等.遥感图像边缘提取微分方法及其应用[J].遥感技术与应用,2008,23(6):729-734
- [5] 谭海峰,赵文杰,等.基于过渡区域模糊增强的合成雷达图像边缘提取算法[J].计算机与现代化,2008,10:24-29

(下转第 272 页)

一个槽特征、盲孔特征和通孔特征的最值空间及其交互情况。如图2所示,一个盲孔的最值空间和槽的最值空间发生交互,其特征也发生交互,盲孔的语义被改变。而通孔的最值空间与其他两个特征的最值空间没有发生交互,所以没有发生特征交互,语义也得到了保持。与图2对应的产品模型渲染图如图3所示。

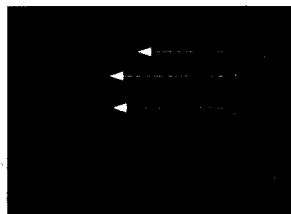


图2 槽、盲孔和通孔的最值空间

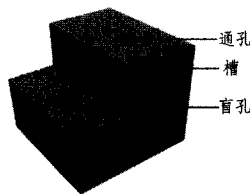


图3 产品模型渲染图

4 结果和讨论

通过 HUST-CAID 系统上的多次试验发现,传统的特征交互检测过程中,需要检测的特征数量与模型中特征数量呈线性关系。也就是说,模型中特征数量越多,特征交互检测的时间代价就越高。然而,在使用了最值空间这一方法后,由于特征交互充分集中特征的数量与模型中的特征数量没有依赖关系,因此在特征交互检测过程中极大地提高了检测效率。经统计,使用本文提出的特征交互检测策略后,每次参与特征交互检测的特征数量一般只有 2~15 个,平均 5 个左右。其对比情况如表 1 所列。

表1 特征交互的检测次数比较

特征数	传统策略	新策略	效果
1—20	12	1—7	一般
20—30	25	2—9	一般
30—40	35	2—13	中
40 以上	—	2—15	好

通过分析对基于特征交互充分性原理的特征检测策略的算法可知,当模型中特征数量较少时,特征交互充分集中的特征数量与模型中的特征数量相差不大,因此系统性能的提升有限。但是对于复杂的模型,尤其是建模的后期过程中,模型

中特征的数量明显增多,而特征交互充分集中特征的数量能够始终保持较小的规模,从而保证了系统特征交互检测的性能。

可见,在细胞元语义特征造型系统中采用这一新的检测策略后,可大大地减少约束求解的次数。尤其对于复杂模型的建模过程,性能提升的作用较大。

结束语 通过使用特征交互充分集,充分挖掘了细胞元模型本身所具备的优势,在不增加算法复杂度的前提下,很大程度地提高了特征交互检测的效率。在采用这种检测策略中,如何减少存储空间的开销,以及如何提高小模型的稳定性,是值得进一步研究的课题。另外,对于自定义特征以及组合特征的特征交互检测稳定性的研究,也非常必要。

参考文献

- [1] Bronsvort W F, Bidarra R, Nyirenda P J. Developments in feature modeling[J]. Computer-Aided Design and Applications, 2006, 3(5): 655-664
- [2] Lourenço D, Oliveira P, Noort A, et al. Constraint solving for direct manipulation of features[J]. Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2006, 20(4): 369-382
- [3] 左继红,王千祥,梅宏. 基于模式分析的特征交互检测[J]. 软件学报, 2007, 18(4): 796-807
- [4] 唐敏,董金祥,Chou Shang-Ching. 多客户协同特征造型系统中的冲突解决[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(6): 1139-1145
- [5] 陈正鸣,高曙明,彭群生. 基于局部特征识别的特征有效性维护方法[J]. 软件学报, 2002, 13(4): 552-560
- [6] Bidarra R, Madeira J, Neels W J, et al. Efficiency of boundary evaluation for a cellular model[J]. Computer Aided Design, 2005, 37(12): 1266-1284
- [7] Bidarra R, Neels W J, Bronsvort W F. Boundary evaluation for a cellular model[C]//Computers and Information in Engineering Conference, Chicago, USA, 2003: 255-265
- [8] Hilderick A, van der Meiden, Bronsvort W F. A constructive approach to calculate parameter ranges for systems of geometric constraints[J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(4): 275-283
- [9] Bidarra R, Noort A. Advanced Direct Manipulation of Feature Models [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 07). Barcelona, Spain, 2007: 8-11
- [10] Hilderick A, van der Meiden, Bronsvort W F. Solving topological constraints for declarative families of objects[J]. Computer Aided Design, 2007, 39(8): 652-662

(上接第 269 页)

- [6] 李新,谢勇智,等. 基于运动图像序列的啤酒瓶凸性字符快速提取方法[J]. 桂林工学院学报, 2005, 25(1): 97-100
- [7] 王新,黄兆云. 基于多结构元素的数学形态学图像边缘检[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(7): 89-112
- [8] Lei Tao, Fan Yang-yu, Huang Lian-bing. Fast lane recognition based on morphological multi-structure element model[J]. Optoelectronics Letters, 2009, 5(4): 304-308
- [9] 孙达,刘家峰. 基于概率密度梯度的边缘检测[J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 299-307
- [10] 冯会真,夏哲雷,等. 基于神经网络的图像边缘检测方法[J]. 中

国计量学院学报, 2006, 17(4): 289-291

- [11] 张东波,王耀南. FCM 聚类算法和粗糙集在医疗图像分割中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(12): 1683-1687
- [12] Besbeas P, Feis I D, Sapatinas H. A comparative simulation study of wavelet shrinkage estimators for Poisson counts[J]. Int. Stat. Re., 2004, 72(2): 209-237
- [13] 虞伟,张小刚. 遗传算法优化的形态学边缘检测算子[J]. 微计算机信息, 2008, 24(9): 168-170
- [14] 钟玉琢,乔秉新,李树青. 机器人视觉技术(第一版)[D]. 北京: 国防工业出版社, 1994: 327-330