

# 层次聚类算法的实时图像边缘检测及 FPGA 实现

刘紫燕, 祁 佳

(贵州大学 电子信息学院 贵州 贵阳 550025)

**摘要:** Sobel、Roberts 算子是基于微分得出的, 由于模板和阈值固定, 因此缺乏自适应性。将采集到的实时灰度图像先进行中值滤波, 使用分裂聚类算法对实时灰度图像梯度值进行第 1 次聚类, 然后对第 1 次分裂聚类的结果进行凝聚聚类, 再进行第 2 次的分裂聚类, 最后对第 2 次聚类的结果进行自适应阈值判断得出图像边缘, 并在 FPGA 上实现。实验结果表明, 采用层次聚类算法检测出的边缘更加精细, 抑制噪声能力更强。

**关键词:** 分裂聚类算法; 凝聚聚类算法; 自适应阈值; FPGA; 边缘检测

**中图分类号:** TP391.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8891(2014)01-0053-05

## Hierarchical Clustering Algorithm of Real-Time Image Edge Detection on FPGA

LIU Zi-yan, QI Jia

(College of Electronic Information, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** The classical edge operators are mostly based on the gradient computation such as Sobel, Roberts operator and so on, which has features of poor self-adaptability due to its fixed template and threshold. In this paper, the noise in real-time gray-scale image is filtered by median filtering, and then the gradient value of real-time gray-scale image is classified for the first time by split-level clustering algorithm. After that, this gradient is classified for the second time by agglomerative clustering algorithm. The image edge is obtained by using adaptive threshold. The results demonstrate that the edge detected by the hierarchical clustering algorithm is more accurate, and the background noise is filtered as well.

**Key words:** split-level clustering algorithm, agglomerative clustering algorithm, adaptive threshold, FPGA, edge detection

### 0 引言

边缘是图像最基本的特征之一<sup>[1]</sup>, 图像边缘一般指图像灰度变化率最大的像素点的总和, 边缘广泛地分布于物体之间、物体与背景之间<sup>[2]</sup>。边缘检测是计算机视觉、模式识别和图像处理等的基础, 因此边缘检测是图像处理中一个重要的环节<sup>[3]</sup>。

传统的微分法的边缘检测是常用的边缘检测算法, 基于微分算法的算子主要有 Sobel、Roberts、Prewitt 和 Canny 算子等<sup>[3]</sup>。由于微分算子常在边缘附近区域产生较宽的响应, 因此结果通常需要加以细化处理, 这影响了边缘检测的精确度<sup>[4]</sup>。

聚类分析法是数据挖掘常用的算法之一, 是根据一定的分类规则, 合理地划分数据集合, 确定每个数

据所在类别。“聚类”就是“划分数据集合, 确定每个数据所在类别”的过程<sup>[5]</sup>。

层次聚类是聚类分析法的一种, 分为凝聚算法和分裂算法。凝聚层次聚类: 首先将每个对象作为一个簇, 然后逐层合并成为越来越大的簇, 直到所有的对象都在一个簇中, 或者给定的条件得到满足。分裂层次聚类: 与凝聚的层次聚类相反, 它将所有对象看作一个簇, 然后逐步细分为越来越小的簇, 直到满足给定条件或每个对象自成一簇<sup>[6]</sup>。

经典的微分算子由于使用固定的模板和阈值, 自适应性比较差, 层次聚类则根据对象不同的特征可以自适应的分类。因此, 本文首次应用层次聚类的凝聚和分裂算法对实时图像的边缘进行检测, 该算法对于边缘检测检测能力以及抗噪能力明显优于基于微分

收稿日期: 2013-09-26; 修订日期: 2013-10-31.

作者简介: 刘紫燕 (1977-), 女, 贵州都匀人, 副教授, 硕士生导师。研究方向: 无线通信, 嵌入式通信, 下一代通信系统等。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目, 编号: 61263005; 贵州省自然科学基金资助项目 ([2011]2193 号), 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目, 编号: 20105201120003。

的边缘算子。

## 1 基于层次聚类的边缘检测

在基于层次聚类的边缘检测算法中,关键在于如何对于所要检测的灰度图像进行合理的分裂层次聚类,即如何将具有边缘特征的像素点聚集为一类,要确定合理的层次聚类的原则。

边缘是灰度值剧烈变化的地方,即属于边缘的像素点与周围的像素点有明显的差异。所以可以利用边缘检测模板内的像素点灰度值的梯度变化较大的特点作为层次聚类的分类标准。

通常一个像素点若为边缘点,则在以该点为中心的窗口内灰度对比强烈,但是在使用传统微分算子的情况下,检测模板和阈值都是固定的,算法的适应性较差,检测出的边缘不够精细。因此,需要使用层次聚类算法对模板内部的像素点梯度值进行聚类分析,从而最大程度的挖掘图像的边缘信息,同时根据本模板内梯度的特点得出的自适应阈值来判断本像素点是否为边缘点。

由上述分析可知,自适应对于图像的边缘检测非常重要,本文基于层次聚类算法的边缘检测,先对灰度图像进行中值滤波,再将灰度值进行层次聚类分析,最后通过自适应的阈值分析层次聚类的结果来实现边缘检测,并在FPGA上实现。

### 1.1 中值滤波

中值滤波是一种非线性空间滤波方法,能很好地滤除脉冲噪声,对多种噪声都有着良好的适应性,还能有效地保护图像的边缘<sup>[7]</sup>。

中值滤波将某个像素领域中的像素按灰度进行排序,然后选择该序列的中间值作为输出像素值,若其周围像素灰度值与该点像素值相差较大,则取与周围的像素值接近的值为该点像素灰度值,从而消除噪声。

### 1.2 层次聚类的边缘检测算法

本算法是利用聚类分析法中的分裂层次聚类算法来对 $3 \times 3$ 边缘检测模板中的像素梯度的聚类分析,从而求得图像的边缘。首先求得经过中值滤波后像素模板中像素中心点与其周围所有领域像素点灰度值差的绝对值,将这些差的绝对值分为一簇,用这个簇中的像素点灰度值与所给定的阈值进行比较进行第一次分裂,将大于阈值的像素点分为一簇,小于阈值的像素点置为0同时分为一簇,再将这2个簇的像素点灰度值进行凝聚合并为1个簇,将凝聚后的整个簇中的所有像素点按灰度值进行升序排序,取第3位和第4位灰度值的平均值作为自适应的阈值,将新的

簇中所有像素点灰度值的均值与这个自适应的阈值进行比较,再一次进行分裂层次聚类分析,大于阈值的判定为边缘,小于该自适应阈值的则不是边缘。

设一个 $3 \times 3$ 的边缘检测模板中经过中值滤波后所有像素点的灰度值为: $P_k(k=1,2,\dots,9)$ ,设需要判断是否为边缘点的模板中心点灰度值为 $P_5$ 。

求像素模板中像素中心点与其周围所有领域像素点灰度值差的绝对值为 $P_i = |P_k - P_5|$ ,其中 $i=1,2,\dots,8$ , $k=1,2,\dots,9$ ,将 $P_i$ 分为一簇 $V$ 。

设第一次分裂聚类的分类阈值为 $T$ ,将 $P_i$ 与给定的阈值 $T$ 进行比较,并进行分裂聚类,若 $P_i$ 大于或等于阈值 $T$ 则分为簇 $A$ ,反之分给簇 $B$ 。

将簇 $A$ 和簇 $B$ 中所有像素点的灰度值进行凝聚聚类为新的簇 $C$ 。

求簇 $C$ 中所有的像素点的灰度值 $P_j(j=1,2,\dots,8)$ 的灰度值的平均值 $P_a$ ,如下式:

$$P_a = (\sum_{j=1}^8 P_j) / 8 \quad (j=1,2,\dots,8) \quad (1)$$

再将簇 $C$ 所有像素点的灰度值进行升序排序,得到新的排序为: $P'_j(j=1,2,\dots,8)$ 。

取排在第4位和第5位的像素点灰度值的均值为自适应的阈值 $P_T$ ,如下式所示。

$$P_T = (P_4' + P_5') / 2 \quad (2)$$

最后,再对簇 $C$ 中的元素 $P_j(j=1,2,\dots,8)$ 进行分裂层次聚类分析,若 $P_j$ 大于阈值 $P_T$ 的则判定为边缘,反之小于阈值则不是。

### 1.3 层次聚类边缘检测算法的流程

根据上述分析,选用 $3 \times 3$ 的模板来做边缘检测,得到的本文的算法流程如下:

步骤1 将采集到的实时彩色图像转为灰度图像,再进行中值滤波。

步骤2 求出模板中像素中心点与其周围所有领域像素点灰度值差的绝对值 $P_i(i=1,2,\dots,8)$ ,并分为一簇 $V$ 。

步骤3 将 $P_i(i=1,2,\dots,8)$ 与给定的阈值 $T$ 比较,进行第一次分裂的层次聚类:

1) 若 $P_i \geq T(i=1,2,\dots,8)$ ,归为簇 $A$ ;

2) 若 $P_i < T(i=1,2,\dots,8)$ ,将 $P_i$ 置0归为簇 $B$ 。

步骤4 将簇 $A$ 和簇 $B$ 中的元素进行合并,得到凝聚的层次聚类为簇 $C$ ,其中元素 $P_j(j=1,2,\dots,8)$ 。

步骤5 求簇 $C$ 中所有的像素点的灰度值 $P_j(j=1,2,\dots,8)$ 的灰度值的平均值 $P_a$ 。

步骤6 对簇 $C$ 中的元素进行升序排序,得到新的排序为 $P'_j(j=1,2,\dots,8)$ 。

步骤7 求第三位和第四位的像素点灰度值的均值为自适应的阈值  $P_T$ 。

步骤8 将  $C$  簇中所有的像素点的灰度值  $P_j(j=1,2,\dots,8)$  与自适应的阈值  $P_T$  比较, 进行第二次分裂的层次聚类:

- 1) 若  $P_a \geq P_T$ , 则判定该簇中的点为边缘点;
- 2) 若  $P_a < P_T$ , 则该簇中的点不是边缘点。

## 2 层次聚类边缘检测算法的FPGA实现

本系统是通过先对采集的实时图像进行格式转换, 将原始视频格式转为实时灰度图像, 将灰度图像进行中值滤波, 再将中值滤波后的图像进行层次聚类分析的边缘判定, 并将得到的实时边缘图像在液晶屏显示<sup>[8]</sup>。

### 2.1 中值滤波模块

中值滤波模块主要是由窗口模块和排序模块两部分组成, 若要判断某点是否是边缘点, 先使其领域内的9个点通过  $3 \times 3$  的滑动窗口, 得到这9个点<sup>[9]</sup>, 如图1所示, 其中  $P_1-P_9$  是边缘检测像素点模板领域中的9个像素点的灰度值。

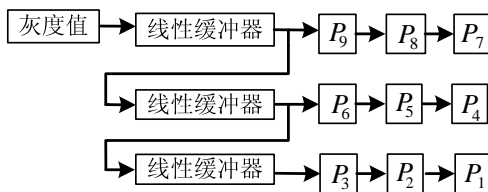


图1  $3 \times 3$  滑动窗口数据输出结构图

Fig.1 Output structure of  $3 \times 3$  sliding window data

将这9个点进行排序, 再将点  $P_5$  与这窗口中9个点的最大值和最小值进行比较, 若  $P_5$  为最大值或者最小值, 则输出排序后9个点的中间值作为中值滤波的值; 否则直接输出  $P_5$  的值作为中值滤波的值<sup>[9]</sup>。

### 2.2 第1次分裂的层次聚类模块

第1次分裂层次聚类模块可以通过一个比较模块实现, 判断模板中像素中心点与其周围所有领域像素点灰度值差的绝对值  $P_i(i=1,2,\dots,8)$  与给定的阈值  $T$  的大小即可实现分裂的层次聚类分析目的, 如图2所示。

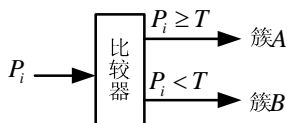


图2 第一次分裂的层次聚类模块示意图

Fig.2 Module diagram of the first split-level clustering

### 2.3 自适应阈值模块

本模块由比较器、加法器和除法器组成, 首先对

簇  $C$  中的数据分4组两两比较, 然后对得到每一组最大值送入最大值比较器, 将每一组的最小值送入最小值比较器, 然后取最大值比较器的最小值即为排第5位的数, 取最小值比较器的最大值即为排第4位的数, 取这2个数的均值即为自适应的阈值, 如图3所示。

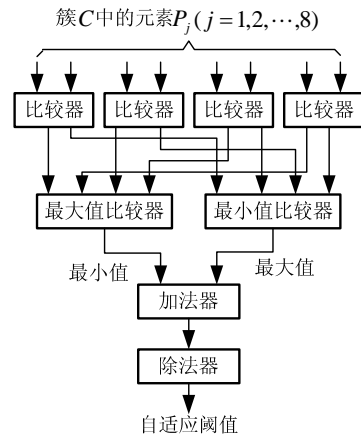


图3 自适应阈值模块示意图

Fig.3 Module diagram of the adaptive threshold

### 2.4 第2次分裂的层次聚类模块

第2次的分裂的层次模块同样也是设置1个比较模块实现, 将  $C$  簇中所有点的灰度值  $P_j(j=1,2,\dots,8)$  与自适应的阈值  $P_T$  进行大小比较即可得到, 如图4所示。

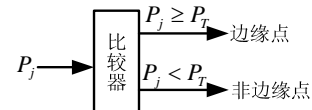


图4 第二次分裂的层次聚类模块示意图

Fig.4 Module diagram of the second split-level clustering

## 3 实验结果与分析

本系统在友晶公司 DE2-70 的实验平台实现, 摄像头为友晶公司 TRDB-D5M, 液晶显示屏为友晶公司的 TRDB-LTM。图5(a)-图5(l)为实验结果图, 图5(a)、图5(e)和图5(i)为实时彩色图像, 图5(b)、图5(f)和图5(j)为实时灰度图像; 图5(c)、图5(g)和图5(k)为传统 Sobel 算法的实时边缘图像; 图5(d)、图5(h)和图5(l)为基于层次聚类算法的实时边缘。通过两次实验结果对比可以看出, 与传统 Sobel 实时边缘检测算法相比, 基于层次聚类算法的边缘检测算法检测出的实时图像边缘更加精细, 同时能很好的抑制背景噪声。

## 4 结束语

本文将实时彩色灰度图像先进行中值滤波, 再将

经过滤波后的灰度图像进行基于分裂的层次分类算法的边缘检测，并在 DE2-70 的 FPGA 平台上实现。实验结果表明，与经典的基于微分的 Sobel 边缘算法

检测的实时边缘相比，基于层次聚类算法的边缘检测算法检测出的边缘检测更加清晰，对于边缘细节刻画更为精确，同时抑制噪声的能力显著增强。



(a) 实时彩色图像



(b) 实时灰度图像



(c) Sobel 算法实时边缘



(d) 基于层次聚类算法的实时边缘



(e) 实时彩色图像



(f) 实时灰度图像



(g) Sobel 算法实时边缘



(h) 基于层次聚类算法的实时边缘

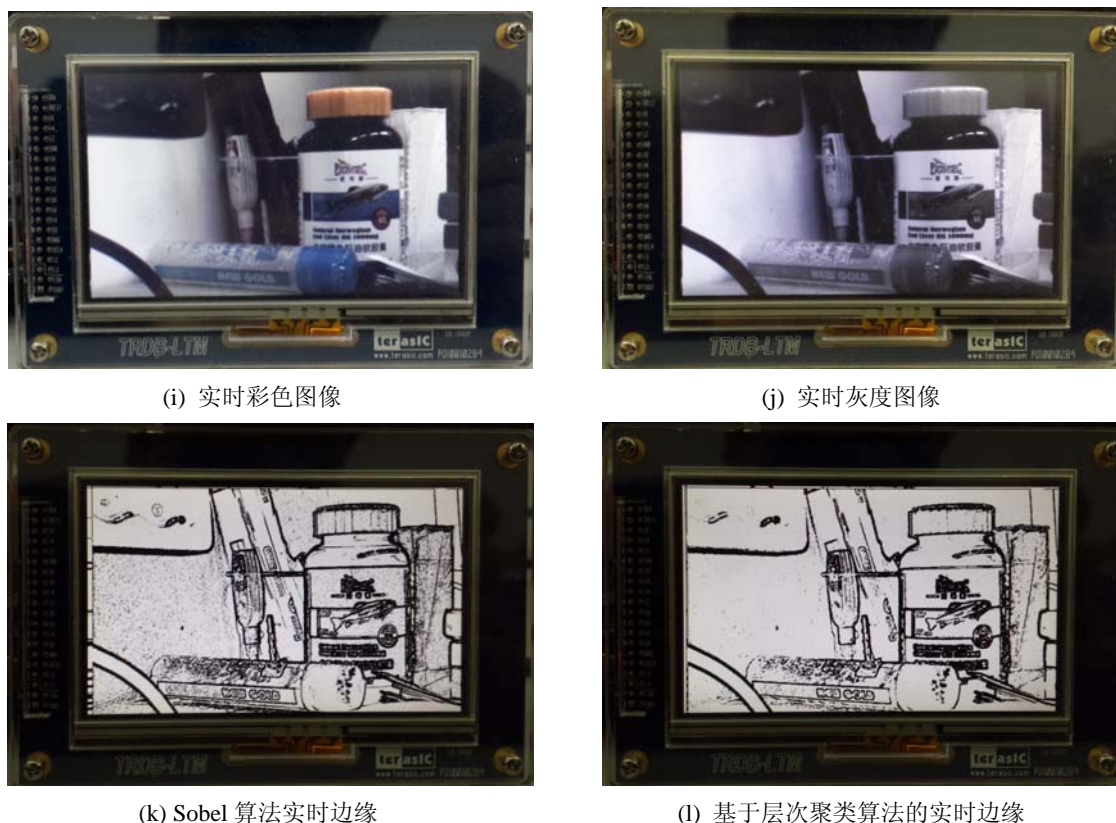


图 5 层次聚类算法优化效果对比图

Fig.5 Contrast figures of the optimization results by hierarchical clustering algorithm

# 参考文献:

- [1] 杨新华, 寇为刚. 基于 FPGA 的 Sobel 算子图像边缘检测算法[J]. 仪表技术与传感器, 2013(1): 102-104.
- [2] 刘紫燕, 祁佳. 实时图像边缘检测形态学优化设计及 FPGA 实现[J]. 电子技术应用, 2013, 19(9): 132-134,138.
- [3] 陈波, 杨阳, 沈田双. 基于模糊聚类分析的边缘检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(z6): 1603-1604.
- [4] 李杰, 彭月英, 元昌安, 等. 基于数学形态学细化算法的图像边缘细化[J]. 计算机应用, 2012, 32(2): 514-516.
- [5] 黄文晓. 聚类分析在图像边缘提取中的应用[J]. 广西民族大学学报: 自然科学版, 2008, 14(4): 83-86, 102.
- [6] 薛洁, 刘希玉. 基于 DNA 计算的层次图聚类算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(12): 188-190.
- [7] 张彩甜. 一种红外图像颗粒噪声自适应滤波算法[J]. 红外技术, 2013, 35(8): 502-506.
- [8] 陈伦海, 黄君凯, 杨帆, 等. 基于 FPGA 的实时边缘检测系统[J]. 液晶与显示, 2011, 26(2): 200-204.
- [9] 路建方, 王新赛, 肖志洋, 等. 基于 FPGA 的红外图像自适应分段线性增强算法[J]. 红外技术, 2013, 35(2): 102-106.