

# 图像分割方法研究

黄长专, 王彪, 杨忠

(南京航空航天大学自动化学院, 江苏南京 210016)

**摘要:** 图像分割是图像分析和模式识别的首要问题,也是图像处理的经典难题之一。文中对图像分割方法进行了系统研究论述,先对图像分割的定义、要求进行简单介绍,然后对阈值化、基于边缘方法、基于区域的方法、基于模型的方法和基于人工智能的方法等主要的图像分割方法进行研究论述,比较了它们的优缺点。在实际应用中,这些分割方法往往相互结合,以期达到单一图像分割方法所不能取得的效果,提高分割效率。

**关键词:** 图像分割; 阈值化; 边缘检测; 人工智能

**中图分类号:** TN911.73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2009)06-0076-04

## A Study on Image Segmentation Techniques

HUANG Chang-zhuan, WANG Biao, YANG Zhong

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** Image segmentation is critical to image processing and pattern recognition. All the typical approaches are presented and discussed in this paper. First reviewed the definition of image segmentation, then studied the major image segmentation approaches including thresholding, edge-based method, region-based method, model-based method and artificial intelligence-based method. In this paper, the merits and drawbacks of the methods were discussed too. In practice, these methods often combine to achieve the effect and raise the efficiency of image segmentation, which can not be obtained by single method.

**Key words:** image segmentation; thresholding; edge detection; artificial intelligence

## 0 引言

图像分割是图像分析和模式识别的首要问题,也是图像处理的经典难题之一,决定图像的最终分析质量和模式识别的判别结果<sup>[1]</sup>。图像分割就是依据图像的灰度、颜色、纹理和边缘等特征,把图像分成各自满足某种相似性准则或具有某种同质特征的连通区域的集合的过程<sup>[2]</sup>。

图像分割时,如果加强分割区域的同性质约束,分割区域很容易产生大量小空洞和不规整边缘;若强调不同区域间性质的差异,则极易造成非同质区域的合并和有意义的边界丢失。因此,虽然由于图像分割要求、图像性质和存储格式等的不同,而有很多图像分割方法,但不同的图像分割方法总是在这样的约束条件下找到适当的平衡点。

## 1 图像分割方法

根据分割方法的不同特点可分为:阈值化、基于边缘的图像分割、基于区域的图像分割、基于模型的图像分割和基于人工智能的图像分割等。

### 1.1 阈值化

阈值化是最简单的分割处理。由于非常简单的图像也有可能存在物体和背景的灰度变化,所以只有在特殊情况下,对整个图像使用单个阈值分割才会成功<sup>[3]</sup>。

传统的阈值化分割方法大都是根据图像的1维灰度直方图来选择阈值<sup>[4]</sup>,当图像的信噪比降低时,该方法选出的阈值就可能会产生很多分割错误<sup>[5,6]</sup>。文献<sup>[7]</sup>提出了一种2维阈值分割方法,通过分析图像的边缘直方图和阈值的关系来得到最优分割阈值。文献<sup>[8]</sup>在每个子图像中分别计算局部阈值,并用该阈值分割该子图像,保证得到平方误差最小意义下的最优阈值。

阈值化的分割方法适用于物体与背景在灰度上有较大差异的情况,阈值化的缺陷在于忽略了图像的空间信息,对于不存在明显灰度差异或各物体的灰度值

收稿日期:2008-09-06;修回日期:2008-12-03

基金项目:国家自然科学基金(60674100)

作者简介:黄长专(1984-),男,硕士研究生,研究方向为导航、制导与控制;王彪,副教授,硕士生导师,研究方向为飞行控制、计算机视觉、精确制导。

范围有较大重叠的图像难以得到准确的分割结果;同时,还可能将存在一定灰度差异的某一有意义的区域分割为不同的区域。

## 1.2 基于边缘的图像分割

基于边缘的图像分割依赖于由边缘检测算子找到的图像边缘,边缘检测得到的图像结果并不能用作分割结果,必须采用后续的处理将边缘合并为边缘链使它与图像中的边界对应的更好,最终的目标是至少达到部分分割<sup>[3]</sup>。

### 1.2.1 边缘检测算子

一般常用一阶和二阶导数来描述和检测图像边缘。一阶导数算子有 Roberts、Sobel、Prewitt 和 Canny 等算子。Roberts 算子检测精度比较高,但对噪声比较敏感。Sobel 算子在较好获得边缘效果的同时,对噪声具有一定的平滑作用,但精度比较低。Prewitt 算子计算比 Sobel 算子更为简单。Canny 算子是一阶传统微分中检测阶跃型边缘效果较好的算子,去噪能力强,但它也容易平滑掉一些边缘信息。二阶微分边缘检测主要是利用拉普拉斯算子,拉普拉斯算子对图像中的噪声比较敏感,并且由于通常产生的是 2 像素宽的边缘,所以很少直接用于边缘检测,通常是在已知边缘像素后用于确定该像素是在图像的暗区还是在明区。

### 1.2.2 边缘松弛法

边缘松弛法可以根据给定的边缘上下文规则来定义,是一种迭代的方法,其中边缘的信度或者收敛到边缘终结或者收敛到边缘形成边界<sup>[3]</sup>。

文献[9]建立了一个评估在不同初始概率下松弛分割结果的准则函数。通过自动调整初始概率,获得该准则函数的最优或次优解,从而得到满意的分割结果。文献[10]先采用离散正交多项式曲面拟合技术探测边缘位置,然后运用松弛标定网突出有意义的边缘结构和压缩噪声边缘。

边缘松弛方法可以容易地用并行方法实现,可以极大地提高速度,但经过较大数目的迭代后常常会产生漂移,得到比预期差的结果。

### 1.2.3 边界跟踪

如果区域的边界未知,但区域本身在图像中已经定义了,那么边界可以唯一地被检测出来。含有区域的图像如果是二值的或者是区域已经被标注出来了,那么任务就是确定区域内边界和外边界。区域内边界是区域的一个子集,而外边界不是区域的一个子集。相邻区域的单一共同边界称为扩展边界,可以用标准的像素坐标来标识。

边界跟踪方法分为 4 邻域跟踪和 8 邻域跟踪。内边界可以使用 4 邻域或者 8 邻域方法跟踪,外边界使

用 4 邻域方法跟踪,扩展边界是用 8 邻域定义的,使用 8 邻域方法跟踪,查找表法使跟踪效率比传统方法要高,且使并行实现成为可能。在文献[11]中给出了详细的伪代码,其中给出了解决跟踪图像中所有边界的有效方法,这种方法非常适合在较高层的分割方法中表示边界。

如果在没有定义区域的灰度图像中跟踪边界的话,就会更为困难<sup>[12]</sup>,这种情况下,区域的边界可以用图像中高梯度像素的简单路径来表示。边界跟踪从作为边界元素概率高的像素开始,然后把在最可能方向上的下一个元素加入。为了找到后续的边界元素,通常要计算在可能边界延续像素处的边界梯度的幅度和方向<sup>[13]</sup>。

文献[14]提出了多目标边界追踪算法,利用八连通边界追踪得到的每个颗粒的唯一标志点及其边界的 Freeman 码。文献[15]提出了一种改进的边界追踪方法,根据水果外形来确定每个区域边界追踪方向的优先权,加快了处理速度。

## 1.3 基于区域的图像分割

基于区域的图像分割是根据图像灰度、纹理、颜色和图像像素统计的均匀性等图像的空间局部特征,把图像中的像素划归到各个物体或区域中,进而将图像分割成若干个不同区域的一种分割方法。基于区域的分割方法主要有区域生长法、分裂合并法和分水岭分割方法。

### 1.3.1 区域生长法、分裂合并法

区域生长法的基本思想是根据一定的相似性准则,将图像中满足相似性准则的像素或子区域合成更大的区域;分裂合并法是从整个图像出发,根据图像和各区域的不均匀性,把图像或区域分割成新的子区域,根据毗邻区域的均匀性,把毗邻的子区域合并成新的较大的区域。这两种方法通常相结合,以便把相似的子区域合并成尽可能大的区域。

针对光照变化和阴影对图像分割的不利影响问题,文献[16]提出了一种基于矢量量化和区域生长的彩色图像分割算法,基于矢量角相似性准则进行区域生长。文献[17]提出了一种新的结合了颜色特征与区域生长的彩色图像分割算法,通过区域增长和合并来获得最后的分割结果。区域生长的固有缺点是分割效果依赖于种子的选择及生长顺序,区域分裂技术的缺点是可能破坏边界,所以它们常常与其他方法相结合,以期取得更好的分割效果。

### 1.3.2 分水岭分割方法

分水岭算法实际上是基于数学形态学的分割算子,Vincent 和 Soille 提出的浸没模拟分水岭算法包含

两步,先将图像中的像素按灰度值大小的升序排列;然后对像素排序进行扫描,构造“集水盆地”,在不同标记的“集水盆地”的边缘处构造“防水堤坝”,完成对图像区域的初始划分<sup>[18]</sup>。

为了抑制传统算法中的过分割,文献[19]通过给定尺度的非线性划分和改进的分水岭标记算法实现图像分割,文献[20]通过分水岭算法分割变换图像,避免了提取分水岭标记点过分依赖于图像先验知识的缺陷。

分水岭分割方法能够准确定位边缘,具有运算简单、易于并行化处理等优点,但同时也存在一些缺点<sup>[21,22]</sup>:对图像中的噪声极为敏感;易于产生过分割;对低对比度图像易丢失重要轮廓。

#### 1.4 基于模型的图像分割

基于模型的图像分割都是基于一定的模型,将图像分割问题转换成目标函数的求解问题,其中目标函数的设计和求解是问题的难点。基于模型的图像分割方法中应用广泛的主要是马尔可夫随机场模型和活动轮廓模型。

##### 1.4.1 基于马尔可夫随机场模型的图像分割

马尔可夫随机场方法建立在马尔可夫模型和 Bayes 理论的基础上,根据统计决策和估计理论中的最优准则确定分割问题的目标函数,求解满足这些条件或消费函数的最大可能分布,从而将分割问题转化为最优化问题<sup>[23]</sup>。

文献[24]根据卫星遥感图像的特点,建立了相应的基于马尔可夫随机场的图像分割模型。文献[25]通过离散小波变换分解图像提取图像分割特征,利用矢量量化聚类 and 马尔可夫随机场建立分割模型。

马尔可夫随机场方法仍有一些缺陷,如图像的上文信息没有得到充分的利用,文献[26]提出了一种基于马尔可夫随机场(MRF)的合成孔径雷达(SAR)图像分割新方法,在传统 MRF 的邻域基团势函数基础上,引入了图像邻域中各个像素的强度差值以及像素之间的距离因子,使 SAR 图像中空间上下文信息得到了更加充分的利用。

##### 1.4.2 基于活动轮廓模型的图像分割

活动轮廓模型主要分为两类,一类是 Kass 等人<sup>[27]</sup>提出的以能量函数极小化为基础的参数活动轮廓模,又称为 Snake 模型;另一类是 Osher 等人<sup>[28]</sup>提出的基于水平集(Level Set)方法和曲线演化的几何活动轮廓模型。

文献[29]对活动轮廓模型的外部能量项进行改进,提出了一种新的自适应图像分割模型,耦合了快速边缘积分方法和简化统计方法。文献[30]提出了一种

改进的快速活动轮廓分割法,给出了不同于原来算法的内部能量函数,并增加了自适应的约束力,扩大了算法捕捉图像特征的范围。

一般而言,参数活动轮廓模型中的平滑基函数比不连续的点需要的参数要少,可以产生更优的算法;同时很容易对 Snake 框架引入一个先验的形状约束,也很容易用户交互。但是这类模型通常只具备单目标轮廓分割能力,缺少应付拓扑变化的灵活性。几何活动轮廓模型由于采用了水平集方法而隐含有拓扑变化的能力,因而使得更为复杂结构的图像分割成为可能,但是计算比较复杂,很难给框架引入一个先验的形状约束,可见两类模型各有千秋<sup>[31]</sup>。

#### 1.5 基于人工智能的图像分割

在图像分割领域应用广泛的人工智能技术主要包括模糊聚类和神经网络,主要是利用人工智能方法得到图像分割的某一参数,然后基于这一参数采用图像分割方法来分割图像。

##### 1.5.1 特征空间聚类

很多图像因为光照不均,会使目标具有缓变的边界,甚至出现亮度或色彩不一致的情况,而模糊方法则能够克服这些不确定性,并能得到可接受的分割结果。模糊聚类就是其中的重要方法之一,其主要有模糊 C 均值聚类和 K 均值聚类。

模糊 C 均值算法的基本思想就是要使价值函数或目标函数最小,由 Bezdek 于 1981 年提出<sup>[32]</sup>,利用初始化方法确定若干初始聚类中心,通过多次迭代循环,不断调整和优化聚类中心,最终使类内方差达到最小,从而实现聚类。

传统的模糊聚类算法不考虑像素之间的空间分布,文献[33]重新定义了像素之间以及像素与区域之间的空间关系,同时构造了像素与区域之间近邻关系的隶属度矩阵并约束到传统的 FCM 算法中。文献[34]利用云变换解决模糊 C 均值聚类算法的初始化中心选择问题,提高了模糊 C 均值遥感图像分割方法的效率,具有较好的稳定性和鲁棒性 K 均值算法是一种基于目标函数的聚类方法,它把聚类归结成一个带约束的非线性规划问题,通过优化求解获得数据集的划分和聚类。K 均值聚类算法随机选取 K 个点作为初始聚类中心,计算各个样本到聚类中心的距离,把样本归到离它最近的那个聚类中心所在的类,对调整后的新类计算新的聚类中心。如果相邻两次的聚类中心没有任何变化,说明样本调整结束,聚类准则函数已经收敛<sup>[35]</sup>。

文献[36]结合粗糙集理论和 K—均值聚类算法,提出了一种图像的粗糙聚类分割方法,提高了分类精

度和准确性。文献[37]利用 SOM 网络将具有相似特征的像素 S 点映射到一个 2D 神经网上,再根据神经元间的相似性,利用 K—均值算法将神经元聚类。

虽然聚类方法不需要训练集,但需要事先确定分类个数,且初始参数对分类结果影响较大;另一方面,由于聚类也没有考虑空间信息,因而对噪声敏感。

### 1.5.2 基于神经网络的图像分割

人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANN)因其具有并行处理能力和非线性特点而特别适合于解决分类问题。神经网络方法的出发点是将图像分割问题转化为诸如能量最小化、分类等问题,即先利用训练样本集对 ANN 进行训练,再用训练好的 ANN 去分割新的图像。文献[38]将聚类网络用于非监督的图像分割,提出了竞争层神经元的动态调整机制和返回式的非重复训练学习方案。文献[39]采用一种基于神经网络的线性搜索方法来确定直方图的谷值,可以得到最优的阈值来分割图像。

ANN 的不足是需要大量的训练样本集,计算速度往往难以达到要求。

## 2 结束语

文中研究论述了主要的图像分割方法,包括阈值化、基于边缘检测的图像分割、基于区域的图像分割、基于模型的图像分割和基于人工智能的图像分割。目前,还没有一个通用的分割算法可以胜任所有的图像分割,这些分割方法往往相互结合,以期达到单一图像分割方法所不能取得的效果,提高分割效率。

### 参考文献:

- [1] 林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国图象图形学报,2005,10(1):1-10.
- [2] 李俊山,李旭辉.数字图像处理[M].北京:清华大学出版社,2007.
- [3] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. 图像处理、分析与机器视觉[M].第2版.艾海舟,武勃等译.北京:人民邮电出版社,2002.
- [4] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C, et al. A survey of thresholding techniques[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1988, 41(2): 233-260.
- [5] Brink A D. Thresholding of digital images using two dimensional entropies[J]. Pattern Recognition, 1992, 25(8): 803-808.
- [6] 章毓晋.图象分割[M].北京:科学出版社,2001.
- [7] 王珊珊,王秋光.基于图像边缘信息的2维阈值分割方法[J].中国图象图形学报,2007,12(1):78-81.
- [8] 潘立丰,王利生.一种视网膜血管自适应提取方法[J].中国图象图形学报,2006,11(3):310-316.
- [9] 桑农,张天序,曹治国.基于边缘约束的红外目标图像松弛分割技术[J].电子学报,2002,30(7):1027-1031.
- [10] 崔旭东,邱春蓉,刘瑞根.用标记松弛方法检测闪光图像边缘[J].光电工程,2001,28(4):42-45.
- [11] Liow Y T. A contour tracing algorithm that preserves common boundaries between regions[J]. Image Understanding, 1991, 53(3): 313-321.
- [12] Dudani S A. Region extraction using boundary following[M]. New York: Academic Press, 1976.
- [13] Ballard D H, Brown C M. Computer Vision[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982.
- [14] 于洋,刘二莉,周铁涛,等.边界追踪及Freeman码在定量金相中的应用[J].北京航空航天大学学报,2004,30(8):767-770.
- [15] 邓继忠,张泰岭.水果检测中的边界追踪法[J].华南农业大学学报,2001,22(3):80-82.
- [16] 范静辉,吴建华,刘晔.基于矢量量化和区域生长的彩色图像分割新算法[J].中国图象图形学报,2005,10(9):1079-1081.
- [17] 赵钦佩,姚莉秀,程建,等.基于颜色信息与区域生长的图像分割新算法[J].上海交通大学学报,2007,41(5):802-812.
- [18] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598.
- [19] 杨文明,陈国斌,沈晔湖,等.一种基于分水岭变换的图像分割方案[J].浙江大学学报,2006,40(9):1503-1510.
- [20] 丛培盛,孙建忠.分水岭算法分割显微图像中重叠细胞[J].中国图象图形学报,2006,11(12):1781-1783.
- [21] Grau V, Mewes A U J, Alcaniz M. Improved watershed transform for medical image segmentation using prior information[J]. IEEE Transaction on Medical Imaging, 2004, 23(4): 447-458.
- [22] Haris K, Efstratiadis S. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1998, 7(12): 1684-1699.
- [23] 李旭超,朱善安.图像分割中的马尔可夫随机场方法综述[J].中国图象图形学报,2007,12(5):789-798.
- [24] 刘伟强,陈鸿,夏德深.基于马尔可夫随机场的遥感图像分割和描述[J].东南大学学报,1999,29(增刊):11-15.
- [25] 陈明,陈武凡.基于小波分解与马尔可夫随机场的医学图像矢量量化分割[J].中国生物医学工程学报,2001,20(6):489-493.
- [26] 侯一民,郭雷.一种基于马尔可夫随机场的 SAR 图像分割新方法[J].电子与信息学报,2007,29(5):1069-1072.
- [27] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: active contour models[J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4): 321-331.

```

for each  $L_b \in L_{k-1}$ 
  if  $L_a \subset C$  then //  $L_a[i] \in L_a$  and  $L_b[i] \in L_b$ 
    {if ( $L_a[i] = L_b[i]$ ) then
      {  $L_a \in L_{k-1}$ ; break; }
    else if ( $L_a[i] > L_b[i]$ ) then
      continue;
    else break;
  }
if  $L_a \in L_{k-1}$  then
  return true; return false;

```

## 5 举例

下面举例说明<sup>[8,9]</sup>。

(1) 连接步: 假设有 6 个 2-项频繁集:  $L_1 = \{1, 2\}$ ,  $L_2 = \{1, 3\}$ ,  $L_3 = \{1, 5\}$ ,  $L_4 = \{2, 3\}$ ,  $L_5 = \{2, 4\}$ ,  $L_6 = \{2, 5\}$ 。 $L_1$  和  $L_2$ 、 $L_1$  和  $L_3$  满足连接条件, 可以连接。 $L_1$  和  $L_4$  不满足连接条件, 不能连接。依照改进的算法,  $L_1$  和  $L_4$  之后的所有频繁项集都不满足连接条件, 从而减少了  $L_1$  和  $L_5$ 、 $L_1$  和  $L_6$  的判断。

(2) 剪枝步: 假设有一个 3-项候选项集:  $C = \{1, 3, 5\}$ , 4 个 2-项频繁集:  $L_1 = \{1, 3\}$ ,  $L_2 = \{2, 3\}$ ,  $L_3 = \{2, 5\}$ ,  $L_4 = \{3, 5\}$ 。 $C$  的 2-项子集为:  $C_1 = \{1, 3\}$ ,  $C_2 = \{1, 5\}$ ,  $C_3 = \{3, 5\}$ 。第一步在 2-项频繁集中寻找  $C_1$ , 首先  $C_1$  和  $L_1$  比较:  $C_1[1] = L_1[1]$ ,  $C_1[2] = L_1[2]$ , 所以  $C_1 = L_1$ 。第二步在 2-项频繁集中寻找  $C_2$ , 首先  $C_2$  和  $L_1$  比较:  $C_2[1] = L_1[1]$ ,  $C_2[2] > L_1[2]$ , 接着  $C_2$  和  $L_2$  比较:  $C_2[1] < L_2[1]$ , 按照改进的算法, 以后的都不用比较, 也就确定该候选项集  $C$  的子集  $C_2$  不是频繁项集, 由 Apriori 算法性质确定该候选项集  $C$  也不是频繁项集, 所以删除它。

(上接第 79 页)

- [28] Osher S, Sethian J. Fronts propagating with curvature-dependent speed: algorithms based on the Hamilton-Jacobi formulation[J]. Journal of Computational Physics, 1988, 79(1): 12-49.
- [29] 陈波, 赖剑煌, 马建华. 一种耦合的活动轮廓模型及其在图像分割中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(3): 444-449.
- [30] 谢勤彬, 罗代升. 基于改进活动轮廓模型的超声图像分割[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(8): 1638-1641.
- [31] 陈波, 赖剑煌. 用于图像分割的活动轮廓模型综述[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(1): 11-20.
- [32] Bezdek J C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms [M]. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 1981.
- [33] 刘华军, 任明武, 杨静宇. 一种改进的基于模糊聚类的图像分割方法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(9): 1312-1316.
- [34] 秦昆, 徐敏. 基于云模型和 FCM 聚类的遥感图像分割方法[J]. 地球信息科学, 2008, 10(3): 302-307.
- [35] 郑洪英. 数据挖掘聚类算法的分析和应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [36] 邵锐, 巫兆聪, 钟世明. 基于粗糙集的 K-均值聚类算法在图像分割中的应用[J]. 测绘信息与工程, 2005, 30(5): 1-2.
- [37] 许海洋, 王万森. 基于 SOM 神经网络和 K-均值算法的图像分割[J]. 计算机工程与应用, 2005(21): 38-40.
- [38] 焦春林, 高满屯, 史仪凯. 基于改进型聚类神经网络的图像分割[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(20): 93-95.
- [39] 薛岚燕, 郑胜林, 潘保昌, 等. 基于神经网络的灰度图像阈值分割方法[J]. 广东工业大学学报, 2005, 22(4): 67-72.

## 6 结束语

以上的改进方法用 VFP6.0 已进行了验证。关联规则的应用很广泛, 而它的经典算法 Apriori 算法中的频繁项集求解是耗时最多的工作, 那么提高了频繁项集的求解速度, 也就加快了关联规则的求解速度。

## 参考文献:

- [1] 陈文伟, 黄金才. 数据仓库与数据挖掘[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [2] Agrawal R, Imielinski T, Swami A. Mining association rules between sets of items in large databases[C]//Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of data (ACM SIGMOD'93). Washington, USA: [s. n.], 1993: 207-216.
- [3] 袁万莲, 郑诚, 翟明清. 一种改进的 Apriori 算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(5): 52-53.
- [4] 何中胜, 庄燕滨. 基于 Apriori & Fp-growth 的频繁项集发现算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(7): 46-47.
- [5] 吴志丹, 赵大宇, 唐恒永. 一种改进的关联规则挖掘算法[J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2006(3): 258-259.
- [6] Agrawal R, Srikant R. Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Database[C]//Proceeding of the 20th International Conference on Very Large Databases. Santiago, Chile: [s. n.], 1994: 487-499.
- [7] 胡吉明, 鲜学丰. 挖掘关联规则中 Apriori 算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(4): 99-101.
- [8] Cheung D W, Han J, Ng V, et al. A fast distributed Algorithm for mining association rules[C]//In: Proc 1996 Int Conf Parallel and Distributed Information Systems. Miami Beach, FL: [s. n.], 1996: 31-44.
- [9] 郭有强. 一种高效的关联规则维护算法研究与实现[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10): 123-126.