

基于空间聚类的农田土地平整区域规划方法研究*

牛东岭¹ 李笑² 康熙² 刘刚^{1,2}

(1. 现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083)

摘要: 针对当前农田土地平整作业过程中,常会出现铲车过载或空载造成平地效率低下的问题,提出一种基于空间聚类的农田土地平整区域规划方法。首先,获取农田地势高程数据,通过克立格插值法遍历到空间各个位置;然后,通过改进后的 K-均值聚类算法与密度聚类算法,对农田高程数据进行区域标记,去除区域中的离散点和误差点,初步完成区域划分;再结合农田平整时挖填土方量体积和农田面积适中等原则,对区域大小及形状进行修整,完成农田土地平整区域规划。田间试验分析表明,采用所提出的区域规划方法规划后,农田平整过程中铲车过载和空载现象明显减少,有效作业时间提高 5% 以上,工作效率提升显著;平整后各划分区域地势平整情况得到明显提高,平整度小于 6 cm。

关键词: 区域规划 聚类分析 GNSS 控制平地技术

中图分类号: S24; S281 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)S0-0057-06

Regional Planning in GNSS-controlled Land Leveling
Based on Spatial Clustering Method

Niu Dongling¹ Li Xiao² Kang Xi² Liu Gang^{1,2}

(1. Key Laboratory for Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

Abstract: The land precision leveling technology could improve farmland micro-topography and distribution uniformity of irrigation water and soil nutrients, save water and fertilizer and increase both production and income. To improve the working efficiency of GNSS-controlled land leveling system, a method of farmland regional planning based on spatial clustering was explored. Firstly, a topography contour map was generated by using terrain rapid measurement method. Farmland altitude data was obtained by the topography map. Secondly, the altitude data was divided into different categories by using K-means clustering algorithm, and the data in the space was marked by each category. Thirdly, the discrete marked data belonged to each category in the space was merged and error points were removed by using density clustering algorithm. According to the principle of land leveling, regional division was finished by adjusting the amount of digging earth and the size of the farmland area. Finally, farmland experiments were carried out and the results showed that the proposed method could be used to guide the driving well in the process of land leveling. The sum proportion of overload and empty load during the time when the land was planning and navigation functions were working was no more than 5% , which was better than the situation without these functions. The condition of farmland terrain under each region was improved significantly after being leveled. The value of the standard deviation of altitude was less than 6 cm and it could meet the preliminary goal.

Key words: Regional planning Clustering analysis GNSS-controlled land leveling technology

收稿日期: 2015-10-28 修回日期: 2015-11-19

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011AA100505)

作者简介: 牛东岭, 硕士生, 主要从事控制工程与控制系统在农业中的应用研究, E-mail: niudongling1990@163.com

通讯作者: 刘刚, 教授, 博士生导师, 主要从事精细农业及其支持技术研究, E-mail: pac@cau.edu.cn

引言

田间地面的平整程度将影响地面灌溉条件下的水分利用效率和水分分布均匀度,以致影响灌水质量。平整的农田表面有利于进水量和灌水深度分布变化的相对均匀,使根区内水分入渗保持较好的均一性,起到改善田间地面灌溉效率和灌水均匀度的作用;土地平整是一种改进地面灌溉的重要技术方法^[1]。常规的机械平地方法受到平地设备的制约,土地平整精度达到一定水平后无法继续提高^[2],精细土地平整可以有效地提高土地的平整精度,对田间灌溉有十分重要的意义。

目前,国际上主要采用的精细土地平整技术主要有激光控制平地技术和 GNSS(全球卫星导航)控制平地技术^[3-4]。由于激光控制平地技术易受到外界因素的影响,并且激光接收器的垂直接收距离有限,会出现激光接收器无法工作的情况。GNSS 控制平地技术不受农田地势高低及天气等外界因素影响,智能化程度较高,可以实现地形测量和土地坡面平整等功能,方便农业工作者作业;同时,GNSS 信号不受接收距离的制约,所以 GNSS 控制平地技术相比激光平地技术更适用于大面积农田土地的平整。

现阶段智能化精细平整工作中,会根据农田地势信息情况,选择合适的农田面积作为平整单位。但当农田面积较大,GNSS 控制平地系统根据地势信息生成的基准面,大多会出现挖填土方量过大,导致平地铲出现过多空载和过载问题,不仅影响工作效率,而且受到工作设备的限制,诸如拖拉机马力不足时,导致平地工作无法正常进行;若人为对大面积农田进行划分平整,没有考虑农田地势信息,则造成平整作业量的增加和工作时间的浪费。

针对上述问题,进行了空间聚类算法的研究。现阶段,各个领域的研究人员分别对原有的空间聚类算法进行了研究与改进,如谢娟英等^[5]提出了一种改进的全局 K-均值聚类算法;杨帆等^[6]将基于网格的空间聚类方法应用于人口和社会经济领域,提出了一种基于网格的空间聚类方法在区域划分中的应用;赖玉霞等^[7]提出基于遗传算法的 K 均值聚类分析算法;黎韶光等^[8]提出了一种面向扩展对象的密度聚类算法;刘俊岭等^[9]提出一种优化的基于网格的聚类算法;上述算法均取得了较好的效果,并在各个领域得到了比较广泛的应用。但是以上算法没有结合农田土地平整的实际情况,不能被直接应用于农田规划等领域。

本文提出一种基于空间聚类的农田土地平整区

域规划方法。该方法是将经典的空间聚类分析方法进行改进,并且结合农田平整的实际需求,以拉运土方量最小为原则,实现农田平整前期地形测量完成后的农田智能区域划分,旨在减少平整作业过程中拉运的土方总量,较大地提高土地平整效率。

1 材料和方法

1.1 GNSS 控制平地系统

1.1.1 系统组成

现有的 GNSS 控制平地技术主要包括地形测量、基准设计和平整作业 3 部分,是以 RTK-GNSS 定位信号作为地势信息的主要依据,通过硬件设备和软件系统的集成,形成完整的 GNSS 控制平地系统。GNSS 控制平地系统主要由拖拉机、平地铲、液压系统、GNSS 信号接收设备、智能控制终端和拉力传感器等组成,如图 1 所示。

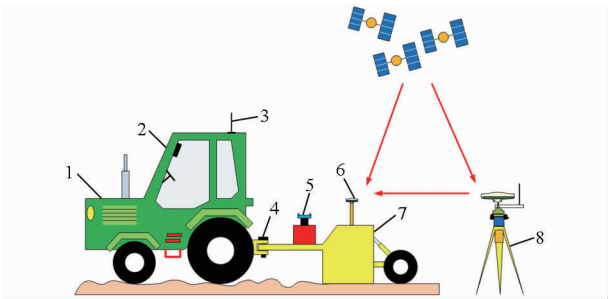


图 1 系统组成

Fig. 1 System components

1. 拖拉机 2. 集成控制终端 3. 移动站电台天线 4. 销轴式拉力传感器 5. 液压系统 6. 移动站卫星天线 7. 平地铲 8. 基站

1.1.2 工作原理

GNSS 控制平地系统工作原理^[10]如下:首先,利用卫星天线获取 RTK 差分定位信号,得到农田离散点的三维数据,通过农田地形测量,生成农田地形图;设计农田平整坡度,建立目标平整基准面方程,作为平整作业时参考面依据;在平整作业过程中,将目标设计高程和当前实际高程进行对比,判断当前位置高低,控制平地铲的自动升降,达到精细平整的效果。在平整作业过程中,销轴式拉力传感器实时检测当前铲车所受的拉力,当拉力大于预设值时,系统会发出报警信号;同时,现有系统会根据农田整体地势的信息以及平整过程中平地铲的拉力信号,在平整作业过程中,对工作者提供辅助导航信息,从而辅助工作人员做出更优化的平地路径决策,提高土地平整效率。

1.2 空间聚类分析

聚类是将数据对象划分成多个类或簇的过程^[11]。空间聚类是一种针对空间数据进行处理和

分析的聚类技术。按照某种指定的相似性或相异性检测大型多维空间数据集,根据空间实体的空间及非空间特性对其进行自动分类,从而将数据集中的空间按数据特征区分为一系列具有相互差异性质的数据簇。在这个结果中,要求处于同一簇中的对象之间具有较大的相似性,而不同簇对象之间具有较大的相异性^[12]。目前空间聚类技术是空间数据集分类的一个主要的方法^[10]。

目前常用的数据聚类方法主要有基于划分的空间聚类、基于层次的空间聚类、基于密度的空间聚类、基于网格的空间聚类^[13]、基于模型的空间聚类和基于智能计算的空间聚类^[14]等。本文主要对基于划分的点目标空间聚类方法以及基于密度的空间聚类方法进行整合和改进。基于划分的空间聚类方法通过预先指定的聚类数目或聚类中心,经过反复迭代运算,逐步降低目标函数的误差,直到目标函数收敛时,得到最终聚类结果,代表算法为 K-均值算法。基于密度的点目标空间聚类方法依据点目标的局部空间密度作为相似度的指标,将临近区域内局部空间密度相似的点目标聚为一类,代表算法为 DBSCAN。

1.3 区域规划算法

采用基于划分点目标的空间聚类方法和基于密度点目标的空间聚类方法相结合的方法,根据农田土地平整的实际要求,提出农田区域规划算法,旨在减少工作过程中铲车长时间空载和超载现象,提高大面积农田土地平整的工作效率,完善 GNSS 控制平地系统。

1.3.1 数据获取与预处理

在土地平整作业开始前,通过安装在铲车中间位置的卫星天线,采用 RTK 差分定位方法,获取农田表面离散点的三维数据,运用坐标转换,保存各个离散点相对于所标定的原点的三维坐标值;然后对农田进行栅格划分,栅格大小与铲车尺寸相同;通过计算各个栅格的平均高程得到该栅格的基准高程,并以矩阵的形式保存数据处理后的农田高程,为后续操作提供数据支持。

1.3.2 栅格聚类标记

在农田数据获取结束后,根据得到的各个栅格的平均高程,运用三角形线性插值法生成地形图,获取农田地势的基本信息,如面积、平均高程、最大高程、最小高程以及挖填土方量等;根据农田平整需挖填土方总量及平整作业时农田最佳挖填土方量,得到区域划分个数,即聚类分析中的簇数,其计算公式为

$$N = \frac{C_{\max}}{C} \tag{1}$$

式中 N ——划分区域数量

$C_{\max}$ ——挖填土方总量

C ——农田最佳挖填土方量

根据得到的 N 值,首先在不考虑栅格空间属性的条件下,采用 K-均值聚类算法^[15]对农田栅格聚类标识进行标记,表示每一个栅格所属的区域;然后采用密度聚类方法,对空间中邻接且属于同一区域的栅格进行连接,去除误差点与孤立点,形成初步的区域划分。

具体算法如下:

(1)根据式(1)得到的 N 值,对最大高程差进行均分,得到每个区域的高程范围,然后以此范围的中心值作为每个区域的聚类中心,此时获得 N 个中心值($m_1, m_2, \dots, m_N$)。

(2)计算每个栅格中的高程 x_{ij} 与各区域中心的差值,并将它分配到差值最小的区域中,将该栅格进行区域标记。

(3)待各个栅格标记完成后,重新设计各区域中心值 m_i ;然后,计算各个栅格点高程与区域中心值的偏差 E ,如果 E 值收敛,则标记完成,否则重复步骤(2)。 m_i 及 E 的计算式为

$$m_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \tag{2}$$

$$E = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} \|x_{ij} - m_i\|^2 \tag{3}$$

式中 n_i ——第 i 个区域标记的栅格数

(4)完成标记操作后,对每个栅格进行半径为 ε 的邻域检测,当目标栅格邻域中包含多于 $MinPts$ 个相同标记的点时,则对此点进行 2 次标记,标记完成后进行相同标记点连接,形成区域;如果目标栅格邻域中包含个数少于 $MinPts$ 个相同标记点,则将此点划分在邻域中类型较多的区域中^[16]。

(5)初步区域规划完成,返回结果。

1.3.3 区域完善和挖填土方量计算

在初步区域规划完成后,为减少农田平整时挖填土方量,避免农田面积过小的情况,对区域进行修整,完成农田土地平整区域规划。为方便种植,农田一般以矩形为基本形状,并且此算法适用于大面积农田,如果划分后的区域过小,则失去区域规划的意义;所以需要将划分好的区域进行形状和面积的规范化并计算出每个区域的挖填土方量。

具体操作如下:①检测划分好的区域,如果区域为不规则的矩形,则在区域外侧进行矩形补齐。②补齐完成后,检测划分区域的面积;如果面积小于

30 m × 30 m,则合并相邻 2 个区域。③计算每一个区域的平均高程、挖填土方量和农田面积。④完成区域规划算法。算法流程如图 2 所示。

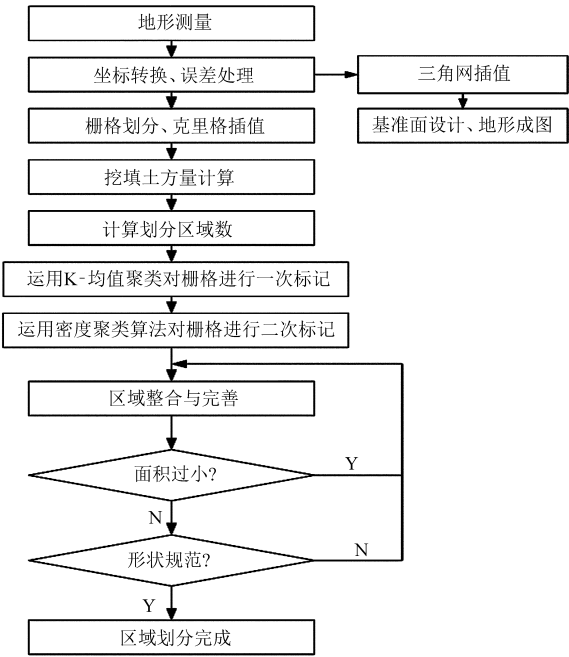


图 2 算法流程图
Fig.2 Algorithm flow chart

2 试验与分析

为了验证所述的区域规划算法的可行性,进行农田平整试验。在中国农业大学上庄实验站的农田中选择 2 块整体地况、土质等条件相似的地块,2 块面积均为 100 m × 100 m,分别作为区域规划试验组与对比组的平整区域。所使用的试验设备主要包括 GNSS 基站、集成控制终端、平板式拉力传感器、东方红 754 型拖拉机、集成液压系统和 2 m 宽平地铲。

2.1 区域划分对比试验

将选好的农田进行地形测量,得到农田整体地势情况;对农田进行区域划分,得到各个区域的地势信息(最大高程差、平整度、高差分布列等),将这些数据作为规划组;同时,对农田进行人为的 50 m × 50 m 划分,得到 4 块面积相同的区域地势信息,作为对比组信息,如图 3、4 所示;将二者进行对比,结果如表 1、2 所示。

由图 3 可知,规划后农田 1 被分为 4 块区域,将其作为规划组;对比组则将农田 1 按常规划分方法划分区域,即区域为 50 m × 50 m 的标准农田;划分后区域地势基本信息如表 1 所示。对比可知,对比组中农田 D 的地势平整度较高,而农田 A 地势平整度较低;导致在平整过程中农田 A 出现过载,农田 D 出现空载的可能性较大;在规划组中,规划后的农田各个地块均得到了较好的分配,有效地避免了上述

情况的发生。

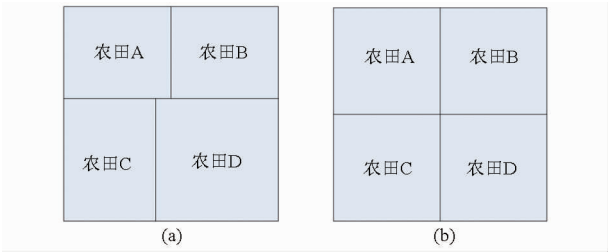


图 3 农田 1 划分示意图
Fig.3 Division figure of No.1 farmland
(a) 规划组 (b) 对比组

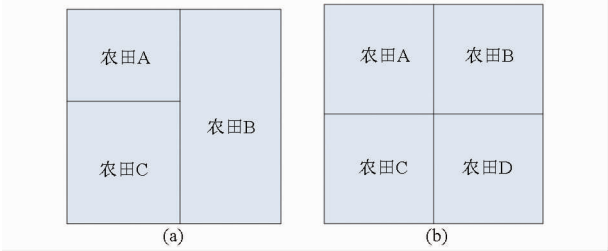


图 4 农田 2 划分示意图
Fig.4 Division figure of No.2 farmland
(a) 规划组 (b) 对比组

表 1 农田 1 区域数据对比

Tab.1 Regional data comparison of No.1 farmland					
地块	面积/ m × m	最大高程 差/cm	平整度/ cm	高差分布 列/%	
规划组	A	40 × 50	17. 8	12. 6	80. 829
	B	40 × 50	19. 2	10. 3	81. 650
	C	60 × 40	19. 6	11. 3	81. 359
	D	60 × 60	18. 6	10. 7	80. 485
对比组	A	50 × 50	20. 8	13. 5	76. 688
	B	50 × 50	19. 2	12. 4	76. 188
	C	50 × 50	18. 3	11. 2	77. 144
	D	50 × 50	17. 5	9. 4	80. 625

注:高差分布列指与基准高程的高度差绝对值小于 5 cm 的测量点占所有地形数据的比例。下同。

表 2 农田 2 区域数据对比

Tab.2 Regional data comparison of No.2 farmland					
地块	面积/ m × m	最大高 程差/cm	平整度/ cm	高差分布 列/%	
规划组	A	40 × 55	17. 8	10. 4	81. 670
	B	100 × 45	19. 3	11. 2	81. 437
	C	60 × 55	19. 4	11. 9	80. 615
对比组	A	50 × 50	21. 6	13. 5	76. 213
	B	50 × 50	18. 2	10. 4	82. 348
	C	50 × 50	18. 7	11. 6	80. 768
	D	50 × 50	18. 9	11. 4	81. 323

由图 4 可知,通过本文算法规划后农田 2 被分为 3 块区域,将其作为规划组;对比组同农田 1,按常规划分方法将农田 2 划分为 4 块区域;划分后的区域地势基本信息如表 2 所示。对比可知,对比组

中农田 B 与农田 D 平整度较高,平整过程中出现空载的可能性较大;规划组将农田 B 与农田 D 合并为 1 块农田,有效避免了空载问题,并且各个地块地势均较平整。

综上可知,农田经过本文算法规划后得到的各个区域的最大高程差、平整度及高差分布列等较稳定,最大高程差小于 20 cm,平整度维持在 10 cm 左右,高差分布列均在 80% 以上。相较于对比组得到的结果,规划组可以更好地根据农田情况进行区域划分,平整度及高差分布列数据均表明,对比组会出现平整度过大或过小的情况;规划组均在适宜平整度范围中,方便了农田平整,并且有效地避免了某一区域挖填土方量过大或过小的情况。

2.2 土地平整试验

由上述数据可知,农田 1 与农田 2 地势情况相当,故以农田 1 作为规划组,以农田 2 作为对比组,进行 2 h 的平整试验。规划组采用本文算法划分区域进行分块平整,对比组采用人为划分区域进行分块平整。试验结果如表 3、4 所示。

表 3 平整前农田地势信息

Tab.3 Farmland terrain information before being leveled					
地块	面积/ m × m	最大高程 差/cm	平整度/ cm	高差分布 列/%	
规划组	A	40 × 50	17. 8	12. 6	80. 829
	B	40 × 50	19. 2	10. 3	81. 650
	C	60 × 40	19. 6	11. 3	81. 359
	D	60 × 60	18. 6	10. 7	80. 485
对比组	A	50 × 50	21. 6	13. 5	76. 213
	B	50 × 50	18. 2	10. 4	82. 348
	C	50 × 50	18. 7	11. 6	80. 768
	D	50 × 50	17. 5	10. 6	82. 537

为验证本文算法是否有助于提高土地平整效率,通过平地过程中拉力传感器实时传回的数据,得出铲车在非空载和非满载情况下工作时间与总工作时间比值的百分数——有效作业时间百分数,通过对比 2 组试验的有效作业时间百分数,得出试验结论,结果如表 5 所示。

由表 3 ~ 5 可知,经过 2 h 的平整试验,规划组平地效果较好,4 块地的平整度均得到了较好地提高;对比组的农田 A 由于地势情况不好,平整效果

相对较差,其他地块平整度及高差分布列等均得到较大程度地提高,平地效果明显。由表 5 可知,规划组 4 个地块有效作业时间百分数较高,出现满载和空载的时间较小;相较于对比组试验,有效作业时间百分数提高 5% 以上。

表 4 平整后农田地势信息

Tab. 4 Farmland terrain information after being leveled					
地块	面积/ m × m	最大高程 差/cm	平整度/ cm	高差分布 列/%	
规划组	A	40 × 50	12. 4	4. 6	92. 654
	B	40 × 50	13. 3	4. 9	90. 089
	C	60 × 40	14. 0	5. 1	89. 236
	D	60 × 60	13. 2	4. 6	92. 894
对比组	A	50 × 50	15. 4	6. 0	87. 063
	B	50 × 50	13. 5	4. 9	91. 640
	C	50 × 50	13. 4	5. 4	90. 572
	D	50 × 50	12. 2	4. 6	91. 063

表 5 有效作业时间百分数

Tab.5 Percentage of effective operating time		
地块	有效作业时间百分数/%	
规划组	A	68. 879
	B	72. 354
	C	69. 145
	D	70. 525
对比组	A	67. 589
	B	64. 651
	C	65. 145
	D	64. 525

3 结论

(1)区域规划后的农田,各个区域高程分布和平整度均维持在一个稳定的数值范围内,没有出现个别区域挖填土方量过大的情况,有效地避免了铲车载土量过大导致停止工作的情况。

(2)区域规划后的农田在平整过程中铲车过载和空载现象减少,有效作业时间百分数提高 5% 以上。

(3)平整后各区域地势平整情况得到明显提升,平整度小于 6 cm,满足灌溉要求,平地效果显著。另外,在通过长时间的实际作业中,该系统工作稳定,可以应用于实际的农田平整工作。

参 考 文 献

1 李益农,许迪,李福祥. 田面平整精度对畦灌性能和作物产量影响的试验研究[J]. 水利学报,2000(12): 82 – 87.
Li Yinong, Xu Di, Li Fuxiang. Study on influences of field leveling precision on border irrigation quality and crop yield[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(12): 82 – 87. (in Chinese)

2 许迪,李益农,李福祥. 激光控制平地方法的经济可行性分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 33 – 37.
Xu Di, Li Yinong, Li Fuxiang. Analysis of economic feasibility of laser-controlled leveling procedure[J]. Transactions of the

- CSAE, 2000, 16(6): 33 – 37. (in Chinese)
- 3 李福祥,许迪,李益农. 农田土地平整设计与激光控制土地平整技术适用性研究[J]. 中国农村水利水电, 2002(4): 27 – 29.
Li Fuxiang, Xu Di, Li Yinong. Research on the farm land leveling design and suitability of laser control technique in land leveling [J]. China Rural Water and Hydropower, 2002(4): 27 – 29. (in Chinese)
- 4 雷晓萍,刘晓峰. 土地开发整理工程中几种常用的土地平整技术[J]. 宁夏农林科技, 2009(5): 51 – 53, 85.
Lei Xiaoping, Liu Xiaofeng. Several common used land leveling technology in land development and consolidation project[J]. Ningxia Journal of Agricultural and Forestry Science and Technology, 2009(5): 51 – 53, 85. (in Chinese)
- 5 谢娟英,蒋帅,王春霞,等. 一种改进的全局 K-均值聚类算法[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版, 2010, 38(2): 18 – 22.
Xie Juanying, Jiang Shuai, Wang Chunxia, et al. An improved global K-means clustering algorithm[J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2010, 38(2): 18 – 22. (in Chinese)
- 6 杨帆,米红. 一种基于网格的空间聚类方法在区域划分中的应用[J]. 测绘学报, 2007, 32(增刊 1): 66 – 69.
Yang Fan, Mi Hong. Application of a grid-based spatial clustering method on regional division[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(Supp. 1): 66 – 69. (in Chinese)
- 7 赖玉霞,刘建平,杨国兴. 基于遗传算法的 K 均值聚类分析算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(20): 200 – 202.
Lai Yuxia, Liu Jianping, Yang Guoxing. K-means clustering analysis based on genetic algorithm[J]. Computer Engineering, 2008, 34(20): 200 – 202. (in Chinese)
- 8 黎韶光,周巨锁,谢玉波,等. 一种面向扩展空间对象的密度聚类算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(13): 166 – 168.
Li Shaoguang, Zhou Jusuo, Xie Yubo, et al. Density-based clustering algorithm for extended spatial objects [J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(13): 166 – 168. (in Chinese)
- 9 刘峻岭,孙焕良,王大玲,等. 一种优化的基于网格的聚类算法[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(10): 1927 – 1930.
Liu Junling, Sun Huanliang, Wang Daling, et al. Optimized cell-based clustering algorithm [J]. Mini-Micro Systems, 2006, 27(10): 1927 – 1930. (in Chinese)
- 10 李德仁,王树良,李德毅,等. 论空间数据挖掘和知识发现的理论与方法[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2002, 27(3): 221 – 233.
Li Deren, Wang Shuliang, Li Deyi, et al. Theories and technologies of spatial data mining and knowledge discovery[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2002, 27(3): 221 – 233. (in Chinese)
- 11 周莹. 数据挖掘聚类算法研究及实现[J]. 信息技术与标准化, 2013(9): 32 – 34.
Zhou Ying. Research and implementation of clustering algorithm of data mining[J]. Information Technology & Standardization, 2013(9): 32 – 34. (in Chinese)
- 12 邸凯昌,李德仁,李德毅. 空间数据发掘和知识发现的框架[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(4): 328 – 332.
Di Kaichang, Li Deren, Li Deyi. A framework of spatial data mining and knowledge discovery[J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping(Wtutm), 1997, 22(4): 328 – 332. (in Chinese)
- 13 赵慧,刘希玉,崔海青. 网格聚类算法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(9): 83 – 85, 89.
Zhao Hui, Liu Xiyu, Cui Haiqing. Grid-based clustering algorithm[J]. Computer Technology and Development, 2010, 20(9): 83 – 85, 89. (in Chinese)
- 14 曾绍琴,李光强,廖志强. 空间聚类方法的分类[J]. 测绘学报, 2012, 37(5): 103 – 106.
Zeng Shaoqin, Li Guangqiang, Liao Zhiqiang. A new category of spatial clustering methods [J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(5): 103 – 106. (in Chinese)
- 15 胡伟. 改进的层次 K 均值聚类算法[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(2): 157 – 159.
Hu Wei. Improved hierarchical K-means clustering algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(2): 157 – 159. (in Chinese)
- 16 李群,袁津生. 基于 DBSCAN 的最优密度文本聚类算法[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(4): 1409 – 1413.
Li Qun, Yuan Jinsheng. Optimal density text clustering algorithm based on DBSCAN[J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33(4): 1409 – 1413. (in Chinese)