

学校编码: 10384
学号: 23020111154457

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦门大学

硕士学位论文

基于测地 Voronoi 图的马赛克图像生成
方法研究

Mosaic Image Generation Method Based on Geodesic
Voronoi Diagram

欧阳永昇

指导教师姓名: 陈中贵 副教授

专业名称: 计算机应用技术

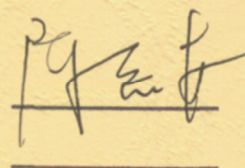
论文提交日期: 2014 年 月

论文答辩时间: 2014 年 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席:

评阅人:



2014 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人提交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

2014 年 5 月 17日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：欧阳永华

2014 年 5 月 17 日

摘要

马赛克是一种非真实感的渲染效果，源图像被不同颜色、形状的嵌片组合而成。本文提出一种基于测地距离度量下的保持源图像特征信息的自适应马赛克图像生成方法。我们方法结合了测地距离度量和重心 Voronoi 图方法。测地距离度量是由源图像的特征曲线定义，特征曲线是利用特征算子从源图像中自动提取得到。Voronoi 图在该测地距离度量下使用快速行进算法生成，这样可以保证生成的 Voronoi 图的 Voronoi 多边形边界与特征曲线重合，从而保持输入源图像的特征信息。除了测地距离度量外我们还定义了马赛克图像的密度函数。密度函数通过一个距离场定义，它表示每个像素点到源图像特征曲线的最短距离，可以通过欧氏距离变换快速计算得到，从而控制马赛克小块的分布。最后结合重心 Voronoi 图理论，使用 Lloyd 迭代算法对 Voronoi 多边形的分布和形状进行优化，使得 Voronoi 多边形的分布密度与密度图像的分布密度相近，形状趋向于正六边形。实验结果表明，本文提出的保持特征马赛克图像生成方法能有效保持源图像的特征信息，马赛克块分布自然，疏密程度自适应连续过渡，马赛克块的形状规则排列整齐。文中最后还给出了本文方法在超像素图像分割和 B 样条曲面拟合中自适应节点设置等问题上的应用。

关键词： 马赛克； 测地距离； Fast Marching 算法； Voronoi 图； Lloyd 迭代

Abstract

Mosaic is a non-photorealistic rendering method, which synthesizes a large image by packing a collection of small colored tiles. This thesis presents a novel feature-preserving method for mosaic image generation, which is based on Voronoi diagram under a non-Euclidean metric. Each Voronoi cell is taken as a tile in the mosaic image. We combine the geodesic distance and centroidal Voronoi diagram. The geodesic distance is defined by the feature edges which are first extracted from the input image automatically. A metric matrix is defined such that the edges of the Voronoi diagram under the new metric align with the feature edges, preserving the feature information. We use the fast marching algorithm for the generation of Voronoi diagram under the geodesic distance. Besides the geodesic distance metric, we also define a density function of mosaic tiles, which controls the distribution of different mosaic tiles. Density function is defined by a distance field, which represents the shortest distance of each pixel to the feature edges. It can be quickly calculated by Euclidean distance transformation. Finally, we combine centroidal Voronoi tessellation method. The shapes of the Voronoi cells are further optimized by Lloyd's method towards hexagonal shapes, and the distribution of Voronoi cells are controlled by the density map. Experimental results show that our algorithm keeps the features of the input image faithfully. The tiles in the generated mosaic image are well shaped and arranged, and vary in size according to the density function. We also show the applications of the proposed method in the super-pixel image segmentation and B-spline surface fitting with adaptive node insertion.

Key Words: mosaics; geodesic distance; fast marching algorithm; Voronoi diagram; Lloyd iteration

目录

第一章 绪论	1
1.1 背景.....	1
1.2 国内外发展现状.....	2
1.3 研究目的和方法.....	5
1.4 论文结构安排.....	7
第二章 理论基础	9
2.1 测地距离.....	9
2.2 Voronoi 图.....	10
2.3 重心 Voronoi 图.....	11
2.4 快速行进算法.....	14
第三章 保特征马赛克算法	17
3.1 图像预处理.....	18
3.1.1 特征图像.....	18
3.1.2 密度图像.....	20
3.2 初始种子点.....	21
3.3 Lloyd 迭代.....	25
3.4 颜色填充.....	32
第四章 实验结果和对比	33
4.1 实验结果.....	33
4.2 结果比较.....	34
第五章 应用	39
5.1 特征编辑.....	39
5.2 超像素.....	40
5.3 曲面拟合.....	43
第六章 结论及研究展望	49

6.1 总结.....	49
6.2 研究展望.....	49
参考文献	51
研究生期间发表的论文与参与的项目	55
致谢.....	57
附录 A 更多实验结果.....	59

厦门大学博硕士论文摘要库

Catalog

Chapter 1. Introduction.....	1
1.1 Background.....	1
1.2 Related works.....	2
1.3 Research purpose and our method.....	5
1.4 Structure of the thesis.....	7
Chapter 2. Theoretical basis	9
2.1 Geodesic distance.....	9
2.2 Voronoi diagram.....	10
2.3 Centroidal Voronoi Tesselations	11
2.4 Fast marching algorithm	14
Chapter 3. Feature-preserving method.....	17
3.1 Image preprocessing	18
3.1.1 Feature image.....	18
3.1.2 Density image	20
3.2 Initialization	21
3.3 Lloyd iteration.....	25
3.4 Color filling.....	32
Chapter 4. Experimental results and comparisons	33
4.1 Experimental results.....	33
4.2 Comparisons	34
Chapter 5. Application.....	39
5.1 Feature editing	39
5.2 Superpixels.....	40
5.3 Surface fitting.....	43
Chapter 6. Conclusion and future work.....	49

6.1 Conclusion	49
6.2 Future work.....	49
References	51
Publications and work.....	55
Acknowledge.....	57
The appendix A More experimental results	59

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 背景

马赛克是一种古老的艺术效果，是一种镶嵌艺术，主要通过组合不同大小、形状和颜色的嵌片来生成一种非真实感的渲染效果；最早期的马赛克出现在墙壁或地板上，使用镶嵌的方法把大量嵌片组成具有特殊意义的图案或组合，那个时代的嵌片大多数是有颜色的石块和贝壳；后来随着基督教的兴起和发展，大量的马赛克图案被应用在基督教的壁图和教会的花窗玻璃上，作为装饰和辅助传教之用，使得马赛克艺术进入一个高速发展的时期。近年来，人们对马赛克艺术的要求发生了变化，不仅需要有效和快速的生成方法，而且按照使用场所的不同有了尽量保持真实特征，固定大小和形状的嵌片，便于工业生产等要求；马赛克效果也在不同的场合展示出来，最普遍的是体现在墙纸和地板上，它们会使用两种大小和形状一致，而颜色或图案不一的嵌片去镶嵌，这样得出来的马赛克效果没有特殊的意义，只是比较美观而已。

利用计算机实现自动的马赛克图像生成方法的输入通常是一张源图像，输出为一张与输入的源图像在视觉效果上相似的马赛克效果图像。按照所使用的马赛克小块的不同，马赛克图像的生成方法大致可以分为四类；第一类是传统的马赛克生成方法，它是使用大小和颜色相同的正方形马赛克小块镶嵌而成的，该方法允许这些正方形的马赛克小块按照任意的角度旋转，但是不允许马赛克小块互相重叠，对于指定的马赛克小块的大小，这类问题的主要目标是如何在有限的空间(即源图像)上尽量放置更多的方块(即马赛克小块)，使得生成的马赛克图像的空置区域(即未被马赛克小块覆盖的地方)尽量的少，同时要考虑生成的马赛克图像和输入的源图像在视觉效果上尽量的相似，还要考虑马赛克小块放置的角度，尽量令马赛克图像的效果看起来比较随机和减少马赛克小块的周期性；第二类马赛克图像生成方法是使用大量的小图片合成输入的源图像，生成马赛克的效果，这类马赛克图像生成方法通常使用矩形的马赛克小块，而填充的小图片是从指定的图库中通过特殊的匹配算法选出来填充的，即每个小图片代替输入图像中的一

个矩形区域,在填充的过程中,小图片不允许放大和缩小,更不允许对小图片进行旋转和切割,这样生成的马赛克图像从远处看起来表现得近似源图像,在近处看却能分辨出每一张小图片;第三类马赛克图像生成方法也是利用大量的小图片去合成源图像,但是这一类方法 的马赛克小块的形状不再是矩形,马赛克小块的形状可以是指定的某一种形状或者是完全随机的形状,而且填充用的小图片允许缩放和旋转,甚至可以从小图片中选取特定部分来填充,使得生成的马赛克图像更好的保留源图像的特征;第四类马赛克图像生成方法是使用不规则的多边形马赛克小块,这样能生成类似花窗玻璃的效果,马赛克小块通常使用单一的颜色去填充,大多是使用被马赛克小块覆盖的源图像区域的平均颜色。

1.2 国内外发展现状

近年来关于马赛克图像生成方法的研究有很多,详细可见文献^[1],它是一篇综述性文章,把当时主流的马赛克图像的生成方法做了介绍,简述不同方法的优缺点,并以列表形式横向比较了多种不同的方法,文中总结出四大产生马赛克的模式,并在此基础上提出了作者理想中的分类模式。

根据本文之前的分类方式,第一类传统马赛克图像生成方式有^[2-6],Hausner^[2]是最早尝试使用矩形的马赛克小块来生成传统的马赛克,是基于重心 Voronoi 图结构,与一般的重心 Voronoi 图所生成的 Voronoi 多边形不同,文章的目标是生成矩形的马赛克小块,而不是一般的近似正六边形,所以在生成 Voronoi 图的时候,作者所选用的是曼哈顿距离度量,而不是一般的欧式距离度量;马赛克小块的形状确定了之后,就要考虑马赛克小块的方向和位置,文中通过计算方向场来得到马赛克小块的方向,方向场主要记录输入图像中特征边的方向,这样就可以在曼哈顿距离度量中定义两个轴的方向,以保证所生成的马赛克小块的边与输入图像中的特征边对齐;为了得到更好的视觉效果,文中还提出可以改变马赛克小块大小的方法,这样就可以人为的控制特定部分的视觉效果。Battiato 等^[4]提出一种基于梯度向量(Gradient Vector Flow,简称 GVF)的马赛克图像生成方法,GVF 是一幅向量图,该图展示了梯度扩散的方向,方法分为计算和调整两部分,第一部分通过 GVF 把图中每个像素的偏移角度和亮度计算出来,再根据每个像素的

亮度从大到小依次尝试放置马赛克小块,如果要放置的马赛克小块与之前已放置的小块重合,则放弃放置该小块,通过这样的方法可以使马赛克小块在原图上的覆盖率尽可能的高;第二部分是从左上到右下在每个像素里尝试放置马赛克小块,跟第一部分相同,每个马赛克小块被放置前都要防止与之前已放置的小块重合,增加马赛克小块的覆盖率。Liu 等^[6]为马赛克图像的生成设计了一个全局目标函数,目标函数考虑了马赛克小块方向上的连续性、输入图像特征的一致性和马赛克小块间的不重叠等问题;目标函数分为数据项(Data term)和平滑项(Smoothness term),数据项主要控制马赛克小块的颜色,平滑项主要控制马赛克小块的位置和方向,这相当于把马赛克图像生成的问题转换为最优化目标函数的问题,直接求解最优化问题是相当困难的,作者巧妙地应用了图像分割算法求解目标函数的最优解。

第二类使用矩形图片填充的马赛克图像生成方法有^[7],Pavic 等^[7]提出了一种自适应的马赛克图像生成方法,自适应体现在自动控制马赛克小块的大小,方法主要分为马赛克小块的生成和匹配两部分,以正方形的马赛克小块作为初始状态,把每个小块分为特征区域和非特征区域,首先把非特征区域在图库中自行匹配,找出误差最少的图片并记录误差值,再对所有相邻的两个非特征区域看作一个整体进行匹配,找出误差最少的图片并记录误差值,当所有相邻的非特征区域都计算完毕,就使用贪婪算法把总误差最少的组合找出来,从而生成正方形或矩形马赛克小块;为了提高算法的效率,作者先对图库里所有图片进行预处理,找出每张图片的颜色特征。

第三类使用不规则形状的图片进行填充的有^[8-10],Kim 等^[8]提出一种特殊的马赛克图像生成方法,与一般的马赛克生成方法不同,该方法是用图库中的图片对马赛克小块进行填充,方法使用随机的重心 Voronoi 图来确定马赛克小块的初始形状,再使用能量函数对马赛克小块的形状进行优化,最后为每个马赛克小块在图库中找到最匹配的图片进行填充,图库中的图片没有统一的大小和形状,而填充的时候必须把整个图片都放进去,不能截取图片的其中一部分进行填充,所以匹配算法不只是考虑颜色,也要考虑形状,在形状匹配上,算法会找出一个匹配度最高的图片来填充,因此在生成的马赛克图像中,小块之间难免会出现一些

间隔。Blasi 等^[9]在 Kim 等^[8]的基础上提出了新的算法 PIM, PIM 算法分为三部分: 边缘方向检测(Directional Guideline Detection), 生成马赛克块和填充马赛克块; 边缘方向检测是一种基于图像分割的边缘提取方法; 步骤分为灰度化图像, 图像分割和边缘提取, 这样就能生成一幅保留大部分图像特征的特征图像; 马赛克块主要由随机生成的 Voronoi Diagrams 和特征图像组合而成, 这确定了每个马赛克小块的形状和位置; 最后通过与图库的比较来填充每个马赛克小块, 为了得到更好的效果, 算法会对每个马赛克小块进行分割(文章里是分为 90 块), 对每一块都计算其颜色特征, 这样每个小块都有一个相当精密的颜色特征, 再通过旋转的方法在图库中进行匹配, 就能为每个小块找到一个最合适的区域来填充, 生成一个较好的马赛克图像。Orchard 等^[10]提出特别的马赛克图像生成方法, 该方法把输入图像分为若干个马赛克小块, 但没有对马赛克小块的形状和数量进行限制, 即用户可以自由的选择马赛克小块的个数, 也可以自定义马赛克小块的形状, 当然也可以使用随机算法生成, 而马赛克小块的填充是用图库里的图片来匹配, 作者定义了匹配代价并根据贪婪算法和匹配代价来选取图片。

第四类是使用不规则马赛克小块的马赛克图像生成方法, 与第三类不同, 它是用单一颜色对马赛克小块进行填充, 文章有^[11-14], Dobashi 等^[12]使用 Voronoi Diagram 来生成马赛克的效果, 使用随机种子点作为初始化, 以迭代的方法对 Voronoi Diagram 进行优化, 直至马赛克图像和源图像之前的颜色误差降至指定范围, 优化的方法是对 Voronoi Diagram 的种子点进行移动; 在一次迭代中, 每个种子点将会尝试移动到周围的八个像素, 以找出误差减幅最大的像素作为移动后的种子点。这样可以提高生成的马赛克图像的逼真度, 但是容易生成一些细长的多边形, 不能保证每个马赛克块的质量。文章还提到如何使用交互的方法使效果变得更好和如何在视频中实现。Faustino 等^[13]使用重心 Voronoi 图(CVT)和密度函数来生成马赛克的效果, 方法主要特点是自适应的取样方法, 作者先把输入图像四等分, 再计算分割区域与源图像在颜色上的差距来判断该区域是否需要再分割, 这能在颜色变化比较明显的区域, 即图像的边缘部分投大量的种子点, 而颜色变化比较少的区域投较少的点, 这样做可以模糊的保留图像的大致特征, 也能减少算法的运行时间; 但是这种自适方法生成的种子点所得到的 Voronoi 图的

边界有相当一部分会与原图主要的特征边重合。有了种子点之后可以使用重心 Voronoi 图对马赛克小块的位置进行调整,最后是对每个马赛克小块进行颜色填充,生成马赛克图像。文章的最后还为马赛克图像添加一些特殊的效果,使得图像看起来更加美观。Zhang 等^[14]提出一种不规则嵌片的马赛克生成方法,该方法使用平铺图像空间作为初始化,为了使马赛克小块看起来更随机和减少平铺图像的周期性,作者选用了五边形而不是一般的三角形和四边形,初始化后再随机选取部分五边形进行细分,对部分顶点进行干扰以改变五边形的形状等手段进一步减少平铺图像所产生的周期性;为了保持马赛克图像和输入图像特征上的一致性,算法随机选取一些特征点,之后把部分多边形的顶点移动到最近的特征点。而匹配部分是由一个拥有 27 个元素的元组控制,每个马赛克小块被分为 9 个区域,每个区域分别计算各自的 RGB 值,使用 27 个元素进行匹配以提高逼真度。

1.3 研究目的和方法

本文的目标是设计一种自动的马赛克图像生成方法,使用这种方法生成的马赛克图像类似花窗玻璃的效果,即上述的第四类使用不规则马赛克小块的马赛克图像生成方法,生成的马赛克小块通常使用单一的颜色去填充,大多是使用被马赛克小块覆盖的源图像区域的平均颜色;这类方法大多基于 Voronoi 图结构,首先在源图像上随机撒种子点,每个种子点对应的 Voronoi 多边形就是一个马赛克小块。除了马赛克小块的形状,我们还对马赛克小块的大小有要求,我们希望能有一种自适应的方法使得在输入图像的特征部分马赛克小块小而密,在非特征部分的马赛克小块大而疏,这样就可以生成一种视觉效果更好的马赛克图像。

现存的方法主要存在两种问题,第一种是生成的马赛克图像不能有效的保留输入源图像的特征,第二个问题是生成的马赛克小块的质量参差不齐。第一种问题的主要成因是马赛克小块形状的问题,不论使用的是矩形的马赛克小块还是不规则的马赛克小块,小块的边缘很难自动的与源图像的特征线重合,大部分解决方法都是强制把马赛克小块的边缘依附在源图像的特征在线或使用特征线对马赛克小块进行二次分割。第二种问题的成因是针对使用不规则的马赛克小块生成马赛克图像,由于为了保留源图像的特征,而对马赛克小块进行二次处理,这样

很容易生成一些质量较差的马赛克小块,严重影响马赛克小块大小的一致性;而视觉效果看来,突然出现的比较大或者比较小的马赛克小块会影响观看者的感觉。

为了解决上述问题,本文提出一种保特征的自适的马赛克图像生成方法,该方法属于第四类马赛克图像生成,也是基于 Voronoi 图结构,主要分为两个步骤,第一步是确定初始种子点的位置,每个种子点对应一个 Voronoi 多边形,即马赛克小块,种子点的数目相当于生成的马赛克图像的马赛克小块的数目,所以初始种子点对马赛克图像算法有很大的影响,这会直接影响算法的效果和生成马赛克图像的质量。第二步是对 Voronoi 多边形进行优化,优化的方法有很多,其中大部分都是选用重心 Voronoi 图,它是计算几何里一个既基础又重要的概念;优化的目的通常都是使生成的马赛克图像的视觉效果更加美观。但是使用这种方法生成的马赛克图像有一个明显的特点,由于 Voronoi 图的几何特点,在一般的度量下, Voronoi 多边形的边界是一条直线,这意味着生成的马赛克小块的边缘将会是一条直线,这会严重的破坏输入源图像的特征线,因为在自然图像中特征线不可能总为直线;有些人会使用特殊的方法使马赛克小块的边界与源图像的特征线重合,但是这往往会破坏一部分 Voronoi 多边形的结构,影响视觉效果。

本文提出了一种基于测地距离 Voronoi 图结构的保特征马赛克图像生成方法。在我们的方法中,使用 Canny 算子等特征提取方法自动提取输入源图像中特征线,并生成特征图像,即利用图像的特征定义平面区域的黎曼度量,之后通过这些特征线定义测地距离度量,而不是一般的欧氏距离度量,从而保证在测地距离度量下生成的 Voronoi 图的边界与输入源图像的特征线重合。我们通过欧氏距离变换计算每个像素到图像特征线的最短距离,并利用这个距离场去定义马赛克图像的密度函数,即把特征图像转换成密度图像,这相当于通过计算图像局部颜色信息的复杂度,自适应地采用不同大小的马赛克小块对图像进行拼接,使得在图像颜色变化大、特征明显的地方采用较小的马赛克小块,其他区域采用较大的马赛克小块。由于 Voronoi 图的结构主要取决于其种子点的位置,随机初始化得到的种子点对应 Voronoi 多边形的形状过于杂乱,我们最后采用一种简单的 Lloyd 迭代方法优化种子点位置以及 Voronoi 多边形形状,得到目标马赛克图像。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库