



申请代码	F020501
受理部门	
收件日期	
受理编号	6140050200



国家自然科学基金 申 请 书

(2014 版)

资助类别:	青年科学基金项目		
亚类说明:			
附注说明:			
项目名称:	利用外观相似性和全局拓扑结构的重复元素提取与合成技术研究		
申 请 人:	桂彦	电 话:	0731-85258462
依托单位:	长沙理工大学		
通讯地址:	湖南省长沙市(雨花区)万家丽南路2段960号长沙理工大学计算机与通信工程学院理科楼B区505东		
邮政编码:	410014	单位电话:	0731-85258461
电子邮箱:	guiyan122@163.com		
申报日期:	2014年2月16日		

国家自然科学基金委员会



基本信息

申请人信息	姓名	桂彦	性别	女	出生年月	1985年01月	民族	汉族
	学位	博士	职称	讲师	每年工作时间（月）		8	
	电话	0731-85258462		电子邮箱	guiyan122@163.com			
	传真			国别或地区	中国			
	个人通讯地址	湖南省长沙市(雨花区)万家丽南路2段960号长沙理工大学计算机与通信工程学院理科楼B区505东						
	工作单位	长沙理工大学/计算机与通信工程学院						
	主要研究领域	数字几何处理, 几何建模, 实时渲染, 计算机动画, 虚拟现实, 计算机视觉, 视频理解, 特征抽取, 图像特征, 视频语义分析						
依托单位信息	名称	长沙理工大学						
	联系人	朱华丽	电子邮箱	nsfc_csust@126.com				
	电话	0731-85258461	网站地址	www.csust.edu.cn				
合作研究单位信息	单位名称							
项目基本信息	项目名称	利用外观相似性和全局拓扑结构的重复元素提取与合成技术研究						
	英文名称	Repeated Elements Extraction and Synthesis Using Appearance Similarity and Global Topology Structure						
	资助类别	青年科学基金项目				亚类说明		
	附注说明							
	申请代码	F020501				F020502		
	基地类别							
	研究期限	2015年01月 -- 2017年12月						
	申请经费	25.0000万元						
中文关键词		重复元素；对象提取；几何纹理合成；外观相似性；全局拓扑结构						
英文关键词		Repeated elements；Object Cutout；Geometry texture synthesis；Appearance Similarity；Global Topology Structure						



中文摘要	<p>重复元素提取与合成在可视媒体编辑处理领域内研究难度大且进展缓慢。本项目利用外观相似性和全局拓扑结构，研究重复元素提取与合成技术，旨在解决多目标对象提取与合成过程中存在的效率低下、结果精度不足、过程复杂等瓶颈问题。在图像对象提取方面，研究基于局部水平集演变的重复元素提取方法，在少量用户交互下实现重复元素的精确检测及同时提取，进一步提升对象提取的时间效率；在视频对象提取方面，研究基于时空关联的视频中重复元素提取方法，消除分割结果在视频帧间传递的不连续现象，实现自适应拓扑变化处理的高精度视频对象提取；在几何元素合成方面，研究基于重复元素分布的几何纹理分析与合成方法，通过利用重复几何元素间的空间相邻关系，实现快速的几何纹理合成。本项目的研究可满足人们对可视媒体资源深度开发的迫切需求，为动画制作、影视后期、互动娱乐等数字内容产业的发展提供新的理论与技术支持，具有重大研究与应用意义。</p>
英文摘要	<p>Repeated elements extraction and synthesis is difficult and slow within the field of visual media editing. In order to resolve the bottlenecks of multi-object extraction and geometry synthesis, our research will focus on repeated elements extraction and synthesis by using appearance similarity and global topology structure. In object cutout, we present an efficient image cutout for repeated scene elements using a novel texture-based level set method, which is able to accurately detect and simultaneously cut out the repeated elements with much less user interaction, and further improves the efficiency of multi-object extraction. Extended to video, we present a robust video object cutout for repeated scene elements based on the temporal-spatial correlation, which can eliminate discontinuous propagation between video frames, and achieve a high-precision video object cutout by dealing with topology changes adaptively. In geometry synthesis, we present a structured approach for synthesizing repetitive elements according to a small user input, which can achieve a fast geometry texture synthesis by using the spatial neighborhood relationships among geometric elements. The project meets our urgent need for the advanced treatment of visual media resources, and supplies creative theories and techniques to promote the development of digital content industry including animation, film, entertainment and so on, which has the major significance of research and application.</p>



项目组主要参与者（注：项目组主要参与者不包括项目申请人）

编号	姓名	出生年月	性别	职 称	学 位	单位名称	电话	电子邮箱	项目分工	每年工作时间（月）
1	刘理	1982-09-28	男	讲师	博士	长沙理工大学	15575157270	lukeliuli@163.com	算法研究	8
2	吴宏林	1982-04-26	男	讲师	博士	长沙理工大学	18673178009	honglinwudr@126.com	算法研究	8
3	陈沅涛	1980-06-06	男	讲师	硕士	长沙理工大学	13307490633	yufeng8552@qq.com	算法研究	8
4	欧阳瑞彬	1990-03-19	男	硕士生	学士	长沙理工大学	18867359865	867563511@qq.com	算法研究	8
5	杨弄影	1991-03-29	女	硕士生	学士	长沙理工大学	15111003823	1052412090@qq.com	算法研究	8
6	成韵姿	1990-07-02	女	硕士生	学士	长沙理工大学	13353515380	1014402046@qq.com	算法实现	8
7	黄峻	1989-10-18	男	硕士生	学士	长沙理工大学	15399907400	496273727@qq.com	算法实现	8
8	王培玉	1990-05-08	男	硕士生	学士	长沙理工大学	15111448940	275134199@qq.com	算法实现	8
9	周威	1990-01-06	男	硕士生	学士	长沙理工大学	15292258196	476910661@qq.com	算法实现	8

总人数	高级	中级	初级	博士后	博士生	硕士生
10		4				6



经费申请表

(金额单位: 万元)

科目	申请经费	备注 (计算依据与说明)
一. 研究经费	18.0000	
1. 科研业务费	13.6000	
(1) 测试/计算/分析费	2.0000	相关软件测试、数据测试、几何建模、图像/视频采集
(2) 能源/动力费	1.0000	实验室和办公室设备产生的电费
(3) 会议费/差旅费	6.0000	0.2万元×10人次×3年=6.0万元
(4) 出版物/文献/信息传播费	4.6000	12篇论文×0.25万元/篇+2项发明专利/软件著作权×0.5万元+0.6 (文献检索、通讯费等)
(5) 其他	0	
2. 实验材料费	1.0000	
(1) 原材料/试剂/药品购置费	1.0000	纸张、墨盒、硒鼓耗材等0.6万元+相关正版软件0.4万元
(2) 其他	0	
3. 仪器设备费	3.4000	
(1) 购置	2.6000	高性能微机2台、数码相机1台, 数码摄像机1台
(2) 试制	0.8000	搭建视频/红外采集系统及平台费用
4. 实验室改装费	0	
5. 协作费	0	
二. 国际合作与交流费	2.0000	
1. 项目组成员出国合作交流	1.0000	1人次出国
2. 境外专家来华合作交流	1.0000	1人次专家
三. 劳务费	3.7500	直接参加项目研究的研究生、博士后人员的劳务费用
四. 管理费	1.2500	不得超过申请经费的5%
合计	25.0000	
与本项目相关的其他经费来源	国家其他计划资助经费	0
	其他经费资助(含部门匹配)	0
	其他经费来源合计	0



报告正文：参照以下提纲撰写，要求内容翔实、清晰，层次分明，标题突出。

1. 申请人简历

姓名：桂彦

所在单位及职称：长沙理工大学，计算机与通信工程学院计算机科学与技术系，讲师

研究方向：计算机图形学、计算机动画、图像/视频编辑与处理

本项目中承担的任务：全面负责项目的研究工作，对本项目中的关键问题进行深入分析和研究

受教育经历（从大学本科开始，按时间倒排序）：

2008/09 – 2012/09 上海交通大学，电子信息与电气工程学院，计算机应用技术专业，博士，导师：马利庄教授、博导、国家杰出青年基金获得者，博士毕业论文：《可视媒体编辑与重用关键技术研究》

2005/09 – 2008/05 中南大学，信息科学与工程学院，计算机应用技术专业，硕士，导师：杨路明教授、博导，硕士毕业论文：《基于人体运动跟踪技术的步态分析系统的设计与实现》

2001/09 – 2005/06 湖南师范大学，数学与计算机学院，计算机科学与技术专业，本科

研究工作经历（按时间倒排序）：

2013/09 – 至今 长沙理工大学，计算机与通信工程学院计算机科学与技术系，讲师

2010/09 – 2011/06 上海交通大学，电子信息与电气工程学院计算机科学与工程系，《计算机图像学》课程助教

2. 立项依据与研究内容

（1）项目的立项依据。（研究意义、国内外研究现状及发展动态分析，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）

2.1.1 研究意义

随着互联网的快速发展，网络中具有丰富的可视媒体资源，主要由图像、视频和数字几何这三种媒体信息组成。可视媒体具有非结构性、数据量大、语义多样性等特点，而如何寻求高效、智能的可视媒体编辑处理新方法，从中提取结构化和具有语义的内容，已经



成为近年来研究的热点。国家中长期科技发展规划纲要（2006-2020 年）把“数字媒体内容处理关键技术”列为重点领域及其优先主题，充分挖掘这些海量的可视媒体资源并将其广泛应用于影视特效、计算机游戏、动画制作、虚拟现实等多个领域中，有助于推动我国影视动漫、互动娱乐等数字内容产业的发展。

针对自然场景中具有大量的重复元素，由于这些重复现象潜在的大规模性和复杂性，目前可视媒体编辑与处理技术仍然无法彻底解决多目标对象提取下效率低下、结果精度不足、合成时过程复杂等关键问题，而这些问题都将影响着可视媒体资源的高效处理和有效利用，不利于推动相关数字内容产业的发展。因此，本项目通过利用图像/视频中重复场景元素具有的外观相似特性和几何纹理中重复元素之间的空间相邻关系，对重复元素的提取和合成技术展开相应研究，在解决这些关键问题的同时，有效提升多目标对象提取和合成这两个方面的速率和质量，从而为可视媒体编辑与处理领域提供新的技术支持。

1) 在图像对象提取方面，交互式图像前景对象提取技术（Image Object Cutout）是根据用户在图像中粗糙标记的前景与背景区域，计算已标注前景和背景区域的颜色统计信息，通过将图像提取问题转化为一个图割优化问题，可指定图像中哪些区域属于前景目标和哪些区域属于背景，从而实现对图像中感兴趣目标对象的提取，如图 1.1 所示。然而，由于现有交互式图像前景对象提取技术仅用于获得单个感兴趣的目标物体，若采用这种技术处理具有大量重复元素的图像时，将需要我们提供大量的用户交互逐一地进行抽取，效率低下，且提取结果中仍存在显著的分割瑕疵。因此，本项目研究多个目标对象提取技术，在使用尽可能少的用户交互下实现图像中重复元素的同时提取，试图有效地解决多目标对象提取中低效率这一关键问题，同时也为后续视频中多目标对象提取的研究奠定基础。

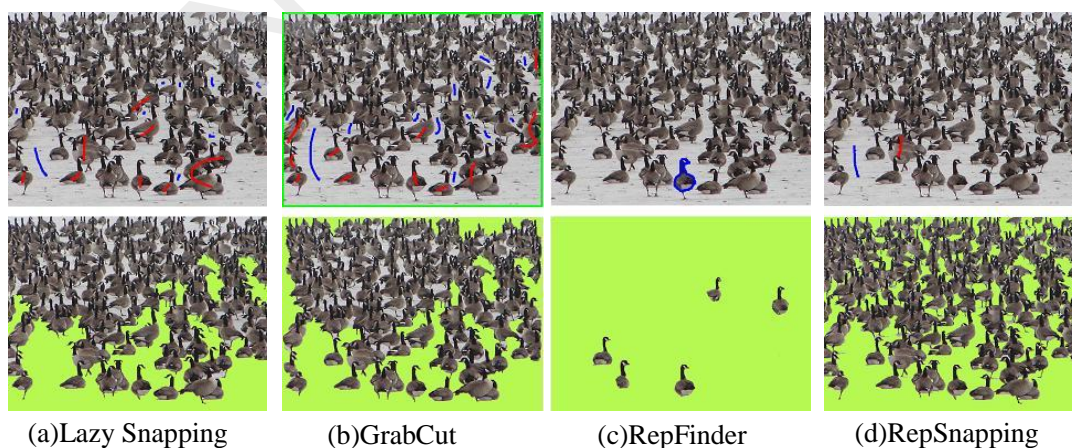


图 1.1: 交互式图像对象提取技术，包括 Lazy Snapping 方法、GrabCut 方法、RepFinder 方法、RepSnapping 方法，图片取自[8]

2) 在视频对象提取方面，视频对象提取技术（Video Object Cutout）是将图像前景对象提取技术扩展到视频领域，即从视频序列中抽取出具有语义的一个视频对象，如图 1.2



所示。然而，当使用现有的视频分割技术提取视频中的重复场景元素时，研究者们很少探究这些方法在算法效率和合理性上存在的局限。由于视频数据具有时空维度和多维动态无结构特性，其中光照的大尺度变化、阴影的出现、场景对象的相互遮挡等使得视频对象提取问题变得难度更大。这其中最大的挑战在于，视频多目标对象提取不仅需要处理比图像对象提取更大的数据量，还需要保持抽取对象的时空连续性。因此，**本项目研究视频多目标对象提取技术，充分利用视频帧间的时空关联特性，有助于解决提取结果精度不足的问题，从而产生高精度的视频对象提取结果。**



图 1.2：视频对象提取技术，图片取自[15]

3) 在几何元素合成方面，几何纹理合成技术是根据用户给定的样本几何纹理，通过合成的方法在物体表面上自动产生新的几何纹理，同时在合成结果中尽可能地保证几何元素的连续性，如图 1.3 所示。然而，对于重复元素的合成，传统的几何纹理合成技术通常采用手动的放置或过程/物理的模拟方法。这是一件极其繁琐的工作，需要大量的用户交互才能取得令人满意的效果，大大增加了几何纹理的使用难度。目前理想的解决办法是具有一种通用、有效的方法，能够为用户容易地指定和合成重复几何元素的分布，但是这种语义相关的结构化几何纹理合成方法并未受到重视。因此，**本项目研究重复几何元素合成技术，分析和利用几何纹理内在的拓扑结构，解决重复几何元素合成时过程复杂的问题，为实现快速、可靠地重复几何元素合成提供新的技术途径。**

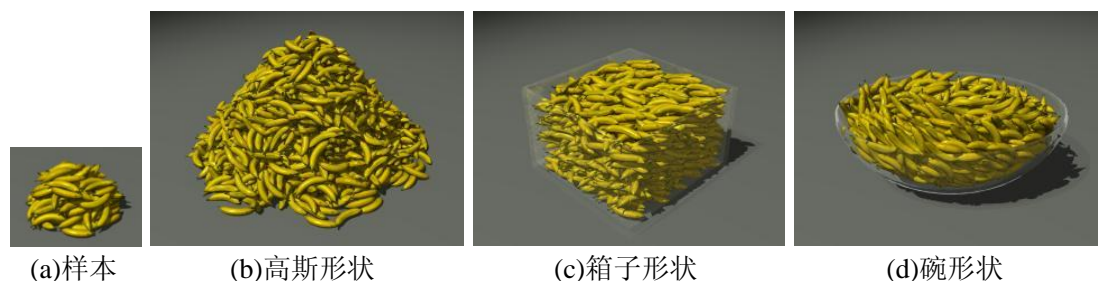


图 1.3：几何纹理合成，图片取自[48]

综上所述，我们迫切需要解决重复元素提取与合成中存在的提取效低下、结果精度不足、合成过程复杂等关键问题。本项目在研究可视媒体资源中重复元素的提取与合成的价值体现在：第一，自动检测并高质量地提取图像/视频中的重复元素，并将其应用于图像/



视频编辑与合成中，能够实现图像/视频素材的高效重用；第二，通过采用结构化的表达方式描述几何纹理，全局拓扑结构的有效构建有助于理解其生长规律，不仅能够达到快速合成的目的，而且能够应用于更高层次的几何编辑处理。总之，重复元素的提取与合成技术的研究符合可视媒体资源深度开发的需要，同时为数字内容产业的发展提供新的技术支持，具有重大的研究与应用意义。

2.1.2 国内外研究现状与分析

本项目研究可视媒体场景中重复元素提取与合成技术，所涉及的关键技术包括图像分割技术、视频分割技术和基于样本的纹理合成技术。

1) 图像分割技术

图像分割是计算机视觉和计算机图形学的一个经典问题，其主要任务是从图像中分割出具有语义的部分，也称为目标对象提取（Object Cutout）。本项目中主要对交互的图像分割问题进行深入探讨及研究。交互式图像分割算法是一类允许用户在静态图像上进行标记，这类方法根据用户的标记将图像划分为与标记对象相对应的互不相交的区域。2004 年，Li 等人[1]提出的懒人抠图（Lazy Snapping）方法，该方法是一种新颖的从粗到精分割前景的算法。2004 年，Rother 等[2]提出了一种迭代的图像图割方法（GrabCut），用户只需要在前景区域上画方框，然后根据通过高斯混合模型（GMM）计算前景和背景的概率分布，使用图割算法抽取目标前景对象。2005 年，Lombaert 等[3]在经典图割方法基础上提出了一种基于多层窄带图割方法。该方法在低分辨率层次上进行分割和传播结果，并在高分辨率层次上逐步精化，能够解决高分辨率图像的高效分割问题。总体上看，用户的交互虽然能够极大地改善图像分割的分割效率和质量。但是，这些交互的图像分割方法仅用于分割场景中感兴趣的单个目标物体。而对于分割图像场景中大量的重复元素，特别是处理复杂的自然场景，这些方法则需要大量的用户交互。

针对这个问题，另一类共同分割方法（cosegmentation）引起了广大研究者的关注，该类方法指的是同时分割两幅图像中具有相同或相似的目标物体。2006 年，Rother 等人[4]通过观察具有一致颜色分布的共同物体，扩展基于图割的分割算法实现共同分割。2010 年，Batra 等人[5]实现了一种交互式的共同分割系统（iCoseg system），该系统是通过人工标记所有共同的目标物体完成分割。可以看出，共同分割是从多幅图像中提取相似的目标物体，而本项目主要研究从单幅图像中分割出所有的重复场景元素。

2007 年，Ahuja 和 Todorovic[6]提出了一种抽取纹理元素的方法，该方法将整幅图像构建为一颗分割树，抽取的重复纹理元素即为具有相似结构的子树。2010 年，清华大学的 Cheng 等人[7]提出了一种新的框架（RepFinder）进行重复元素的检测和抽取。该方法仅根据元素的形状度量元素之间的相似性；然后，通过计算边界带图并结合各元素的形变对重复元素



进行抽取。2011 年, Huang 等人[8]进一步提出了一种新的重复场景元素提取方法 (RepSnapping)。根据各元素在颜色特征上的相似, 该方法进一步改进基于图割的图像分割方法, 实现能够在尽量减少用户交互的情况下将所有的重复场景元素一并进行提取。总体上看, 这些方法关键在于根据重复场景元素具有的相似外观特性, 通过精确定位场景中的重复元素, 进而实现重复元素的同时提取。然而, 基于树结构的提取方法虽然能够抽取重复的场景元素, 但是该方法即使处理小或中等尺寸的图像都需要耗费几十分钟的时间, 提取效率低。RepFinder 方法是根据场景元素的形状特征进行重复元素的检测, 但是当重复场景元素之间具有较大形状差异时, 该方法很难产生准确的抽取结果。而 RepSnapping 方法仅根据颜色特征进行重复元素之间相似性度量, 因此, 该方法不能很好地处理与前景目标具有相似颜色背景的场景。

此外, 研究者们通过编辑图像中的重复场景元素, 从而能够完成更高层次的编辑处理任务。2012 年, Zhang 等人[9]提出了一个半自动的图像编辑框架。通过使用目标物体级的操作和基于外观的相似性检测图像中的重复元素, 该框架能够在大量重复元素中实现单个或多个结构化物体的替换。在 SIGGRAPH ASIA 2013 上, Hu 等人[10]通过研究逆向图像编辑问题, 使得能够从一对给定的源图像和已编辑的副本图像中重新获得具有语义意义的编辑历史过程。而这个过程能够用于图像重编辑、编辑传递以及图像调整等多种应用中。Xu 等人[11]提出的图像编辑方法主要采用交互式的方式修改图像中的颜色、结构以及风格。根据图像中重复元素的空间距离、位置及外观等特征自动地确定待编辑的重复元素, 从而在提供少量用户交互的情况下完成大量的编辑处理任务。

2) 视频分割技术

利用上述较成熟的图像分割方法从视频中提取运动对象仍然是个挑战。针对视频分割的诸多难点, 研究人员已经提出了一些有效的方法。2002 年, DeMenthon 和 Megret[12]提出了一种基于均值位移的视频时空一致分割方法。该方法将三维时空视频体看作七维特征空间, 然后利用层次化的均值位移算法对视频同时进行颜色和运动分割。该方法的创新在于将视频中所有像素点作为整体考虑, 保证分割结果的连续性, 但时间代价和空间代价比较大。2004 年, Agarwala 等人[13]提出了一种基于关键帧跟踪的视频对象边界传播方法。该方法利用基于计算机视觉的跟踪算法自动传播在关键帧上指定一些对象边界, 并允许用户对传播结果进行调整。该方法最大的局限在于不能处理快速的拓扑变化。2005 年, Wang 等人[14]提出了一个交互式视频分割系统。该系统采用了层次化的均值位移方法, 将视频中的像素点聚合成高层次的二维和三维区域, 大大减少了需要计算的节点数量, 提高了算法的效率。2005 年, Li 和 Sun[15]提出了一个视频分割和粘贴系统 (Video Object Cut and Paste)。该系统在连续的关键帧之间建立一个三维的图, 并使用了一个新颖的 3D 图割算法来完成分割工作。但是, 图割算法并不适合在视频中庞大的数据量上运行。2007 年, 考虑到视频中



前景对象运动的重叠问题，Bai 等人[16]提出了一种基于测地线框架的视频分割方法。该方法采用局部最优化的思想，将物体边界分割成小窗口，通过检测对象在视频序列中的轨迹，有效的避免了其他运动物体的干扰。2009 年，Bai 等人[17]提出了一种结合颜色和形状特征的局部分类器的视频分割方法（Video SnapCut）。该方法通过在对象边界上设置一系列重叠的局部颜色和形状分类器窗口，这些局部窗口通过光流传播，并使得局部窗口吸附在对象的边界，通过这些局部分类器的协作实现视频对象分割。该方法已集成到了 Adobe After Effects CS5 中。2010 年，Grundmann 等人[18]在视频体上构建三维图，然后类似于基于图的分割方法，从像素级别到区域级别聚类，形成层次化的分割。

2011 年，浙江大学的 Tong 等人[19]提出了一种渐进式的视频对象提取方法。该方法允许用户利用笔刷在需要分割的对象内部进行涂抹，根据用户的交互不断更新选区，并将选区自动地扩展到后续帧中，该方法采用了三维多层窄带图割策略来加快算法效率。2011 年，上海交通大学的 Cheng 等人[20]一种基于层次化帧结构匹配的交互式视频分割方法。该方法利用了视频帧预处理后的层次化结构特性，在相邻帧间寻找最优匹配，同时给出了基于视频帧匹配的视频分割方法的形式化描述，实现了基于层次化帧结构匹配的交互式视频分割系统工具。2012 年，Cheng 等人[21]又进一步提出了一种基于多层带状的 graphcut 算法的视频分割方法的研究。该方法在低分辨率层次上进行分割和传播结果，并在高分辨率层次上逐步精化，从而可以在视频帧之间鲁棒地传播结果。在 SIGGRAPH 2012 上，山东大学的 Zhong 等人[22]提出了一种不连续感知的视频物体抽取方法。该方法提出了一种新的方向分类器处理现有视频分割方法中存在的不可分离和时域的不连续问题，并结合多分类器覆盖视频中目标物体的多种变化情况。另外，该方法通过使用附加的时空局部编辑操作处理残留的分割误差，从而获得高质量的视频分割结果。在 CVPR 2013 上，Zhang 等人[23]提出了一种新的、有效的基于分层的无方向图方法分割视频中的主要目标对象。该方法在视频帧之间从运动、外观和形状等特征上的相似确定可能的目标对象，进而通过定义运动评分函数：对可能的目标对象进行选择，从而在移动目标对象与背景之间进行判别。Ren 等人[24]研发了一个能够处理高度动态的和复杂场景视频分割框架。该方法整合了图像块的局部背景建模、基于图割的区域级前景对象分割、相邻视频帧中前景-背景分类器之间的时域信息融合等关键技术，从而把视频对象提取看成是视频帧上的背景-前景物体分类问题。

可以看出，上述这些视频分割方法重点考虑了分割对象的时空连续性及分割算法时间与存储空间的效率问题。然而，现有视频分割方法仍停留在提取视频中单个感兴趣的目标物体，而本项目试图研究多目标物体的提取，即实现提取视频场景中的重复元素。

3) 基于样图的纹理合成技术

纹理是自然界中非常普遍的一种现象，可由纹理元素（2D 图像元素或 3D 几何元素）按照一定随机性规则重复排列组成。通常可以使用基于样图的纹理合成技术产生这种近似



周期性的重复特性。

二维纹理合成技术

二维纹理合成技术大多是基于 MRF 模型,它的整体特征只和局部邻域的统计特性相关,只需根据局部邻域信息直接对样本纹理进行采样,就可以合成新的纹理。基于样图的纹理合成技术主要划分为两类:基于像素的纹理合成和基于块的纹理合成。典型的基于像素的纹理合成方法包括:非参数化采样方法[25]、WL 纹理合成算法[26]、图像类推(Image Analogies)[27]等等,而典型的基于块的纹理合成方法包括:图像缝合(Image Quilting)方法[28]、基于图割(Graph-Cut)的方法[29]、纹理全局优化方法[30]等等。总体上看,这些方法虽然能够产生很好的合成结果,但是它们很难合成纹理中离散且相互独立的纹理元素。很大程度上,合成的纹理中既不能保持单个纹理元素的完整性,也不能保持样本纹理中潜在的规律性,因而现有的基于像素/块的纹理合成方法对合成样本纹理图像中重复的纹理元素是失效的。

针对存在的问题,2003 年,Zhang 等人[31]提出一种基于纹元模板(Texture Masks)的方法能够直接在模型表面上进行纹理合成。该方法使用纹元模板来建模局部纹理的变化,能够有效地保持纹理元素的完整性。2004 年,Wu 和 Yu[32]则同时考虑纹理的几何特征和颜色,通过抽取样本纹理的结构图(Feature Map)来引导新纹理特征图的合成,从而在合成结果中产生连续的结构特征。2006 年,Lefebvre 等人[33]则将样本纹理描述为一个低维的欧式外观空间(Appearance Space)进行纹理合成。很明显,上述这些方法依赖于抽取纹理特征来保持结构的连续性。然而,当样本纹理的特征是低对比度又或是模糊不清时,通常很难提取到这些纹理特征,合成效果往往不理想。

随着基于样本纹理合成技术的深入研究,研究者们根据这类纹理的特性提出了许多纹理合成新方法。2002 年,Dichier 等人[34]利用颜色量化方法将构成纹理的基本元素提取出来,称之为纹理粒(Texture Particle),然后根据一个随机可选的共相关性列表重新组织这些纹理粒子产生输出纹理。2006 年,Barla 等人[35]根据用户的参照模式提出了一种自动生成简笔画的合成方法。2008 年,Ijiri 等人[36]将基于局部邻域比较的纹理合成技术和基于局部增长的过程建模系统相结合,提出了一种合成 2D 元素分布的方法。可以看出,方法[35, 36]是适用于非真实感绘制领域的。借用这种思路,2010 年,上海交通大学的 Gui 等人[37]提出了一种图形与图像相结合的纹理合成方法。该方法首先分析样本纹理中纹理元素之间的相邻关系,然后通过利用已抽取的分布重组纹理元素来产生新的纹理图像,从而能够快速、高质量地合成样本纹理图像中重复的纹理元素。在此研究基础上,2012 年,Gui 等人[38]又提出了一种基于特征描述的纹理合成方法,用于合成具有显著结构特征的纹理。该方法能够在合成的纹理中很好地保持纹理结构特征的一致性和连续性。



几何纹理合成技术

近年来,随着硬件技术的迅速发展,研究者们提出了用几何纹理(geometric texture)代替图像纹理来表示物体的表面细节,以提高绘制的精度。2004年,Bhat[39]等人提出了一种基于样本几何体进行几何纹理合成的方法。该方法首先根据生成的坐标帧场建立三维体邻域,然后使用邻域匹配方式输出每一次的几何体,从而在模型表面合成几何纹理。2006年,Zhou等人[40]提出了一种网格缝合(mesh quilting)技术,该技术把二维图像的 graph cut 纹理合成算法扩展到几何纹理上,并结合几何元素的变形和融合来合成新的几何纹理。2007年,Zhou等人[41]提出一种基于高度场表示的地形合成方法。根据真实的地形数据生成,该方法将用户给定的简图分割成多个线段,并在给定的样本中找确定匹配的高度场块;然后通过拼接这些匹配的高度场块,最终合成地形的几何纹理。2009年,韩建伟等人[42]提出了一种基于 Wang Tiles 的几何纹理合成方法在不同物体表面上即时地生成几何纹理。该方法首先根据给定的几何纹理预计算出一组 Wang Tiles,然后通过壳映射技术(shell map)将这组 Wang Tiles 映射到不同的物体表面,从而生成新的几何纹理。

总体上看,上述这些方法主要根据用户给定的样本几何数据在三维模型表面上进行几何纹理合成,其中给定的样本往往是多边形网格模型、体模型和高度场等。尽管这些样本可由更小尺寸的几何元素重复组成,但是这些样本在几何纹理合成过程中都被看成一个整体,且没有考虑重复几何元素之间的语义信息。而在本项目的研究中,几何纹理由独立的几何元素重复构成,与图像纹理一样都具有自相似性,且具有近似规则的结构周期性。其中,几何纹理中的几何元素则可以通过拓扑连接关系提取出来。近年来,研究者们对几何模型中规律的结构抽取进行了研究。2008年,Pauly等人[43]引入了一种可计算的框架用于表示 3D 模型中的规则的或重复的几何结构。该方法分析几何块之间的相似性,并使用非线性的优化方法在变换空间中检测 2D 网格,而这个已建的网格即对应 3D 几何模型中规则的结构。而在 SIGGRAPH ASIA 2011 上,清华大学的 Shen 等人[44]提出了一种城市外观自适应划分的方法,它能够在由无组织 3D 点云构成的城市场景中抽取高层次的外观结构。通过采用这种自适应的划分方式,该方法能够确定每一划分平面的方向、数量和位置,从而抽取城市外观中相互连接且交织的网格结构。

此外,研究者们对合成几何纹理中这种重复特性也展开了大量的研究工作。2008年,Ramanarayanan 等人[45]提出的方法虽然能够生成重复的特性,但是他们更关注的是物体的聚集,即整体的外观特性,而不再是单个物体。该方法能够合成大量的或多种类物体的聚集。2009年,Peytavie 等人[46]提出了一种拼接的方法生成一堆岩石。该方法使用角立方体算法生成一组伪周期的 Tiles,通过拼接这些 Tiles 能够在石块的排列中避免产生不真实的空隙。此外,该方法使用参数化的各项异性距离控制石块的形状。可以看出,该方法适用于合成不规则的几何纹理。2010年,Hsu 和 Keyser[47]提出一种方法建模物体的堆积。该方法



通过建模堆积的行为而不是所有单个物体的行为，因为能够快速产生真实感的结果。由于该方法仅对物体进行简单的放置及组合，因而不能体现各物体之间的相互关系。可以看出，这些方法虽然能够很好地合成重复的几何元素，但是这些方法并没有考虑几何纹理中潜在的拓扑结构，主要体现在样本几何纹理中几何元素都是随机排列的。

而在 SIGGRAPH 2011 上，Ma 等人提出了高质量的几何纹理方法，用于合成重复的几何元素。在提出的离散元素纹理（Discrete Element Textures）方法[48]中，该方法根据用户给定的输入样本和输出域合成重复的几何元素，能够保持单个独立的元素及这些元素之间的分布，且这些合成的结果与输入样本具有相似的外观特征及保持方向和边界等的约束。在 SIGGRAPH 2013 上，Ma 等人进一步在时间域上扩展提出的动态元素纹理（Dynamic Element Textures）方法[49]，该方法能够通过时空输出约束控制高层次的结构，如输出域的整体形状和运动；以及通过小的输入样本控制低层次的细节，如元素的排列和运动。这些方法对于由重复几何元素组成的几何纹理能够产生高质量的输出结果。在 SIGGRAPH ASIA 2013 上，Chen 等人[50]通过引入一种交互式技术从单幅图像中对已抽取得到的目标物体进行 3D 形状操作，其中已抽取的目标物体具有重复的几何结构。该方法将已建模的几何物体快速地编辑和放入图像或 3D 场景中，使得在图像平面到 3D 空间之间能够实现目标物体驱动的图像/几何编辑任务。总体上看，这些方法对于给定的样本几何纹理在合成过程中仍然看成是一个整体，不能实时地进行几何纹理合成。此外，这些方法依赖于使用 3D 建模软件（如：Maya，3dMax）提供输入样本几何纹理，如几何元素的建模。由于繁琐的建模过程，这通常需要进行大量的用户交互。

2.1.3 总结与展望

从上述研究现状的分析中可以看出，可视媒体资源中重复元素提取与合成技术是可视媒体编辑与处理领域内具有挑战性的热点问题之一，重点研究图像多目标对象提取、视频多目标对象提取、几何纹理中重复元素合成等关键技术。近年来，虽然国内外已经在多目标对象提取与合成方面取得了一定的研究成果，但是对于其中存在的提取效率低、结果精度不足、合成过程复杂等关键问题并没有得到根本解决。因此，将富有针对性的相关技术用于多目标对象提取与合成中，并形成成熟的应用技术，能够进一步提升可视媒体资源中重复元素提取与合成的质量与效率，最终实现可视媒体资源的高效重用。本项目以图像、视频、数字几何等媒体信息为处理对象，具体需要解决以下几个关键的理论问题：

1) 在图像对象提取方面，交互的图像对象提取技术在处理具有大量重复元素的情况下，容易导致工作量大、耗时长等低效率问题，因此在如何精确检测重复元素的基础上，建立优化的动态轮廓模型，从而实现重复元素的同时提取是一项关键问题；

2) 在视频对象提取方面，原有视频对象提取技术在处理重复场景元素快速移动、突变、



遮挡等情况时，容易造成提取结果帧间不自然的闪烁、跳变等低精度问题，因此如何保证分割结果在帧间传递的连续性，尝试构建双向的时空关联模型，以达到获得高精度视频对象提取的目的是其中的关键问题；

3) 在几何元素合成方面，现有几何纹理合成技术一般将用户输入作为整体处理对象，容易造成几何模型操作难、数据格式存储难等合成过程复杂的问题，因此如何获取重复元素间的相邻关系，建立结构化的全局拓扑结构，是解除几何纹理合成算法的低速率瓶颈的关键。

本项目正是试图结合水平集演变规则化、时空互关联模型、全局拓扑结构化等技术，解决多目标对象提取和合成等方面面临的关键问题，并在可视媒体编辑与处理领域寻求理论创新与技术突破，进而为内容创作提供更高效、智能的编辑工具。总之，通过将本项目取得的成果广泛应用到动画制作、影视后期编辑、互动娱乐等数字内容产业中，有望促进我国数字内容产业的发展，具有重大的研究意义与应用价值。

主要参考文献：

- [1] Li Y., Sun J., Tang C.-K., and Shum H.-Y., Lazy snapping, ACM Transactions on Graphics, 23(3), pp.303-308, 2004.
- [2] Rother C., Kolmogorov V., and Blake A., “Grab-cut”: interactive foreground extraction using iterated graph cuts. ACM Transactions on Graphics, 23, pp.309-314, 2004.
- [3] Lombaert H., Sun Y., Grady L., and Xu C., A Multilevel Banded Graph Cuts Method for Fast Image Segmentation, 10th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2005), Oct.17-21, 1, pp.259-265, Beijing, China, 2005.
- [4] Rother C., Minkat T., Blake A., and Kolmogorov V., Cosegmentation of image pairs by histogram matching-incorporating a global constraint into mrfs, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Jun.17-22, 1, pp.993-1000, New York, NY, USA, 2006.
- [5] Batra D., Parikh D., Kowdle A., Chen T., and Luo J., iCoseg: interactive cosegmentation with intelligent scribble guidance. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Jun.13-18, pp. 3169-3176, San Francisco, CA, 2010.
- [6] Ahuja N. and Todorovic S., Extracting texels in 2.1D natural textures, IEEE 11th International Conference on Computer Vision, Oct.14-21, pp.1-8, Rio de Janeiro, 2007.
- [7] Cheng M.-M., Zhang F.-L., Mitra N.-J., Huang X., and Hu S.-M., RepFinder: finding approximately repeated scene elements for image editing, ACM Transactions on Graphics, 29(4), pp.83:1-8, 2010.
- [8] Huang H., Zhang L., and Zhang H.-C., RepSnapping: Efficient Image Cutout for Repeated Scene Elements, Computer Graphics Forum, 30(7), pp.2059-2066, 2011.
- [9] Zhang F.-L., Cheng M.-M., Jia J.-y., and Hu S.-M., ImageAdmixture: Putting Together Dissimilar Objects from Groups, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18(11), pp.1849-1857, 2012.
- [10] Hu S.-M., Xu K., Ma L.-Q., Liu B., Jiang B.-Y., and Wang J., Inverse Image Editing: Recovering a Semantic Editing History from a Before-and-After Image Pair, ACM



- Transactions on Graphics, 32(6), 2013.
- [11] Xu L., Yan Q., and Jia J.-y., A Sparse Control Model for Image and Video Editing, ACM Transactions on Graphics, 32(6), 2013.
 - [12] DeMenthon D. and Megret R., Spatio-temporal segmentation of video by hierarchical mean shift analysis, Washington D.C., USA: Computer Vision Laboratory, pp.1-6, 2002.
 - [13] Agarwala A., Hertzmann A., Salesind H., and Seitz S.-M., Key frame-based tracking for rotoscoping and animation. ACM Transactions on Graphics, 23(3), pp.584-591, 2004.
 - [14] Wang J., Bhat P., Colburnr A., and Agarwala M., Interactive video cutout, ACM Transactions on Graphics, 24(3), pp.585-594, 2005.
 - [15] Li Y., Sun J., and Shum H., Video object cut and paste, ACM Transactions on Graphics, 24(3), pp.595-600, 2005.
 - [16] Bai X. and Sapiro G., A geodesic framework for fast interactive image and video segmentation and matting, IEEE 11th International Conference on Computer Vision, Oct.14-20, pp.1-8, Rio de Janeiro, Brazil, 2007.
 - [17] Bai X., Wang J., Simons D., and Sapiro G., Video SnapCut: robust video object cutout using localized classifiers. ACM Transactions on Graphics, 28(3), pp.1-11, 2009.
 - [18] Grundmann M., Kwatra V., and Han M., et al. Efficient hierarchical graph-based video segmentation, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Jun.13-18, pp.2141-2148, New Jersey, USA, 2010.
 - [19] Tong R., Zhang Y., and Ding M., Video Brush: A Novel Interface for Efficient Video Cutout. Computer Graphics Forum, 30(7), pp.2049-2057, 2011.
 - [20] Chen M.-G., Hou R., Gao Y., and Ma L.-Z., Hierarchical frame structure based interactive video object cutout, ACM SIGGRAPH VRCAI'11, pp.287-292, HongKong, 2011.
 - [21] Chen M.-G., Sui B.-C., Gao Y. and Ma L.-Z., Efficient video cutout based on adaptive multilevel banded method, SCIENCE CHINA Information Sciences, 55(5), pp.1082-1092, 2012.
 - [22] Zhong F., Qin X.-Y., Peng Q.-S., and Meng X.-X., Discontinuity-Aware Video Object Cutout, ACM Transactions on Graphics, 31(6), pp.175:1-10, 2012.
 - [23] Zhang D., Javed O., and Shah M., Video Object Segmentation through Spatially Accurate and Temporally Dense Extraction of Primary Object Regions, 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), Jun. 23-28, pp. 628-635, Portland, OR, USA, 2013
 - [24] Ren X.-b. , Han T.-X. , and He Z.-h., Ensemble Video Object Cut in Highly Dynamic Scenes, 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), Jun. 23-28, pp. 1947-1954, Portland, OR, USA, 2013
 - [25] Efros A.-A. and Leung T.-K., Texture synthesis by non-parametric sampling, In International Conference on Computer Vision, Sept.20-27, pp.1033-1038, Kerkyra, Greece, 1999.
 - [26] Wei L.-Y. and Levoy M., Fast texture synthesis using treestructured vector quantization, In SIGGRAPH '00: Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, Jul.23-28, pp.479-488, New Orleans, Louisiana, USA, 2000.
 - [27] Hertzmann A., Jacobs C.-E., Oliver N., Curless B., and Salesin D.-H., Image analogies, In SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, Aug.12-17, pp. 327-340, New York, USA, 2001.
 - [28] Efros A.-A. and Freeman W., Image quilting for texture synthesis and transfer, In SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, Aug.12-17, pp.341-346, New York, USA, 2001.



- [29] Kwatra V., Schodl A., Essa I., Turk G., and Bobick A., Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts, *ACM Transactions on Graphics*, 22(3), pp.277-286, 2003.
- [30] Kwatra V., Essa I., Bobick A., and Kwatra N., Texture optimization for example-based synthesis, *ACM Transactions on Graphics*, 24(3), pp.795-802, 2005.
- [31] Zhang J.-D., Zhou K., Velho L., Guo B.-N., and Shum H.-Y., Synthesis of progressively-variant textures on arbitrary surfaces, *ACM Transactions on Graphics*, 22(3), pp. 295-302, 2003.
- [32] Wu Q. and Yu Y.-Z., Feature matching and deformation for texture synthesis, *ACM Transactions on Graphics*, 23(3), pp.364-367, 2004.
- [33] Lefebvre S. and Hoppe H., Appearance-space texture synthesis, *ACM Transactions on Graphics*, 25(3), pages 541-548, 2006.
- [34] Dischler J.-M., Maritaud K., Lvy B., and Ghazanfarpour D., Texture particles, *Computer Graphics Forum*, 21, pp.401-410, 2002.
- [35] Barla P., Breslav S., Thollot J., Sillion F., and Markosian L., Stroke pattern analysis and synthesis, *Computer Graphics Forum*, 25, 2006.
- [36] Ijiri T., Mech R., Igarashi T., and Miller G., An example-based procedural system for element arrangement, *Computer Graphics Forum*, 27(2), pp.429-436, 2008.
- [37] Gui Y. and Ma L.-Z., Periodic Pattern of Texture Analysis and Synthesis based on Texels Distribution, *The Visual Computer*, 26(6-8), pp.951-964, 2010.
- [38] Gui Y., Chen M.-G., Xie Z.-F., Ma L.-Z., and Zhihua Chen, Texture Synthesis based on Feature Description, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 6(3), pp.376-388, 2012.
- [39] Bhat P., Ingram S., and Turk G., Geometric texture synthesis by example, In *ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing 2004*, pp.41-44, New York, USA, 2004.
- [40] Zhou K., Huang X., Tong Y.-Y., Desbrun M., Guo B.-N., and Shum H.-Y., Mesh Quilting for Geometric Texture Synthesis, *ACM Transactions on Graphics*, 25(3), pp.690-697, 2006.
- [41] Zhou H, Sun J, Turk G, and Rehg J.-M., Terrain synthesis from digital elevation models. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(4), pp.834-848, 2007.
- [42] 韩建伟, 王青, 周昆, 鲍虎军, 基于 Wang Tiles 的几何纹理合成, *软件学报*, 第 20 卷, 第 13 期, 3254-3264 页, 2009.
- [43] Pauly M., Mitra N.-J., Wallner J., Pottmann H., and Guibas L., Discovering structural regularity in 3D geometry, *ACM Transactions on Graphics*, 27(3), 2008.
- [44] Shen C.-H., Huang S.-S., Fu H.-b., and Hu S.-M., Adaptive Partitioning of Urban Facades, *ACM Transactions on Graphics*, 30(6), 2011.
- [45] Ramanarayanan G., Bala K., and Ferwerda J. A., Perception of Complex Aggregates, *ACM Transactions on Graphics*, 27(3), 2008.
- [46] Peytavie A., Galin E., Grosjean J., and Merillou S., Procedural Generation of Rock Piles using Aperiodic, *Computer Graphics Forum*, 28(7), pp.1801-1809, 2009.
- [47] Hsu S. W. and Keyser J., Piles of Objects, *ACM Transactions on Graphics*, 29(6), 2010.
- [48] Ma C. Y., Wei L. Y., and Tong X., Discrete Element Textures, *ACM Transactions on Graphics*, 30(4), 2011.
- [49] Ma C. Y., Wei L. Y., Lefebvre S., and Tong X., Dynamic Element Textures, *ACM Transactions on Graphics*, 32(4), 2013.
- [50] Chen T., Zhu Z., Shamir A., Hu S.-M., and Cohen-Or D., 3-Sweep: Extracting Editable Objects from a Single Photo, *ACM Transactions on Graphics*, 32(6), 2013.



(2) 项目的研究内容、研究目标,以及拟解决的关键科学问题。
(此部分为重点阐述内容)

2.2.1 研究内容

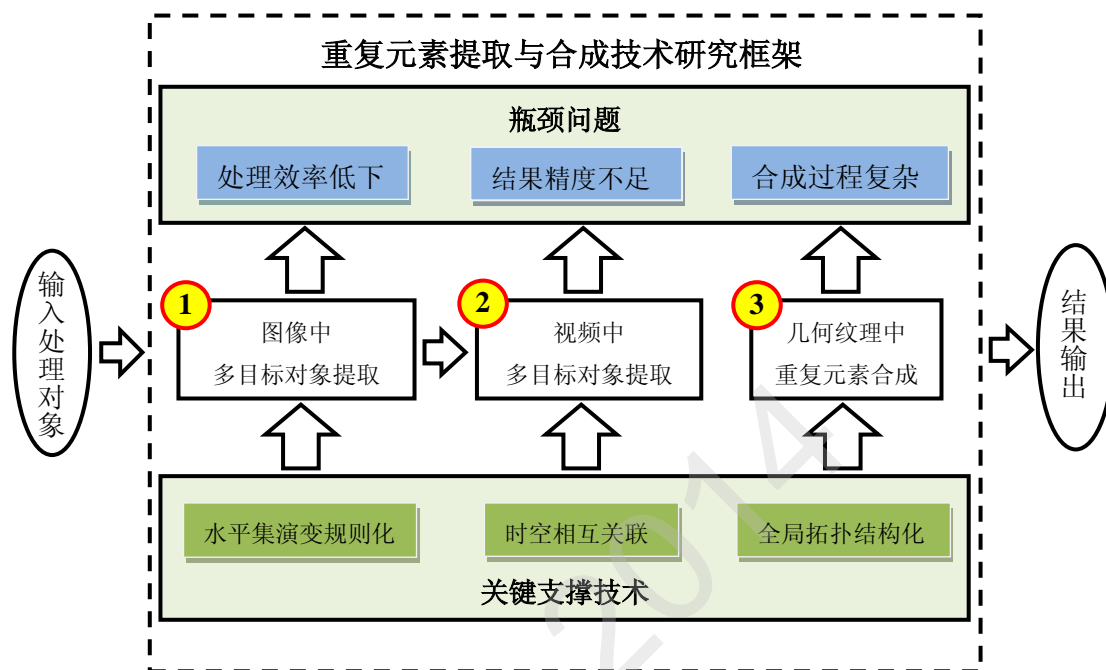


图 2.1: 研究内容整体框架图

本项目关于重复元素提取与合成技术的研究框架,是以可视媒体资源中的图像、视频、几何纹理等作为主要处理对象,通过采用水平集演变规则化、时空关联模型、全局拓扑结构化等关键支撑技术,解决多目标对象提取下效率低、结果精度不足、合成时过程复杂等瓶颈问题,最终获得高效、高质量的提取和合成结果,如图 2.1 所示。本项目具体研究内容如下:

- 1) 在图像对象提取方面,研究基于局部水平集演变的重复元素提取方法,主要包括:分析图像域内颜色或形状特征对于重复元素检测的局限,构建颜色、纹理、形状等的多特征空间,研究多特征下高精度的重复元素检测方法;结合外观相似性检测建立的相互连接关系,构建局部动态轮廓传播模型,研究和改进可变水平集图像分割方法,以实现重复元素的同时提取。
- 2) 在视频对象提取方面,研究基于时空关联的视频中重复元素提取方法,主要包括:分析视频关键的提取结果在视频帧间传播产生的不连续机理,构建基于特征对齐的双向时空关联模型;分析视频中快速移动的重复元素产生的突变、相互遮挡等情况对提取精度的影响,建立拓扑变化处理机制,及局部优化操作;探索时空关联的视频多目标对象快速提取方法,并验证新方法的效率和质量。
- 3) 在重复几何元素合成方面,研究基于重复元素分布的几何纹理分析与合成方法,主



要包括：结合重复元素的几何重建，分析重复几何元素之间的空间相邻关系，建立结构化的几何元素拓扑连通图；改变现有基于颜色的相似性度量机制，研究基于位置和类别差异的邻域比较方法，以准确地选取最佳匹配的几何元素；引入启发式冲突检验机制局部增长重复几何元素，研究平面区域或几何模型表面上重复元素的生成方法，以实现快速的重复元素合成。

2.2.2 研究目标

本项目的总体研究目标围绕重复元素提取与合成中存在的提取效率低、结果精度不足、合成过程复杂等瓶颈问题，在深入分析现有相关关键技术的基础上，提出了具有创新性的重复元素提取与合成方法，很大程度地提升图像多目标对象提取、视频多目标对象提取、重复几何元素合成等方面的效率和质量，进而为内容创作提供更高效、智能的编辑工具。本项目具体的研究目标如下：

- 1) **针对图像中多目标对象提取效率低下这一关键问题**，在构建局部动态轮廓传播模型基础上，提出基于局部水平集演变的重复元素提取方法，避免大量人工交互造成的工作繁琐、耗时等问题，在实现重复元素精确检测的基础上，达到多目标对象同时提取的目的。
- 2) **针对视频中多目标对象提取结果精度不足这一关键问题**，在构建特征对齐的双向时空关联模型的基础上，提出基于时空关联的视频中重复场景元素提取方法，积极消除因视频帧间不连续传播、拓扑突变等对提取结果精度的影响，最终产生时空连续的视频对象提取结果。
- 3) **针对重复几何元素合成过程复杂这一关键问题**，在建立重复几何元素之间空间相邻关系的基础上，提出基于重复元素分布的几何纹理分析与合成方法，努力摆脱因模型结构复杂、数据格式存储难等对快速合成的制约，进一步提升重复元素合成的速率。

2.2.3 拟解决的关键科学问题

本项目通过对国内外相关工作的分析总结，将重复元素提取与合成的研究分为图像多目标对象提取、视频多目标对象提取、重复几何元素合成三个部分，主要面临提取效率低、结果精度不足、合成过程复杂等瓶颈问题。这些问题影响着可视媒体资源的高效处理和有效利用，制约着相关数字内容产业的发展，因而迫切需要提出更具有创新性的研究成果加以解决。本项目中具体拟解决的关键科学问题如下：

- 1) **在图像对象提取方面**，如何提高多目标对象提取的效率是其中的关键问题，这要求避免图像区域内复杂背景对前景对象的干扰，且尽可能地减少用户交互；如何在复



杂场景中准确地检测重复元素是又一关键问题，这是实现多目标对象同时提取，极大地提高提取效率的关键。

- 2) **在视频对象提取方面**，如何解决解决视频对象提取的时空不联系性导致的帧间不自然的闪烁和跳变等问题，这需要进行精确的运动估计、自适应拓扑变化处理，以及局部优化调整等；此外，还需考虑如何避免处理视频时由于数据量庞大引起的计算代价、内存消耗等问题，进而实现高效的视频多目标对象提取。
- 3) **在几何元素合成方面**，如何提高合成速度是几何纹理合成中的关键问题，这需要构建几何纹理中重复元素之间的空间相邻关系，从而实时地在空间中或三维模型表面上合成重复几何元素。另外，还需要考虑解决不同种类几何元素之间的相关性、几何元素在位置和形状上的相互关系等问题，以保持重复几何元素的连续性。

(3) 拟采取的研究方案及可行性分析。(包括有关方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明)

2.3.1 拟采取的研究方案

针对上述研究内容与关键科学问题，本项目拟通过水平集演变规则化、时空相互关联、全局拓扑结构化等关键支撑技术，构建局部动态轮廓传播模型、特征对齐的双向时空关联模型、拓扑连通图，实现可视媒体场景中重复元素的提取与合成，致力于解决提取与合成过程中处理效率低、结果精度不足、合成过程复杂等瓶颈问题。围绕图像多目标提取、视频多目标提取、重复几何元素合成等研究内容，本项目拟采取的具体研究方案如下：

1) 基于局部水平集演变的重复元素提取方法

图像对象提取是从图像场景中分割感兴趣的前景目标物体，且适量的用户交互有助于达成快速、精确的对象提取，然而，现有自动、迭代的图像对象提取方法主要是处理单个对象的提取。目前，尽管已有部分研究工作将视角转投于处理具有大量重复元素的图像，但是不精确的重复元素检测使得这些方法在有效性和效率上存在很大缺陷。RepFinder 方法[7]仅根据重复元素之间几何形状的相似性进行重复元素检测，当重复元素之间具有较大形状差异时，该方法无法产生精确地提取结果；而 RepSnapping 方法[8]则是利用相似的颜色信息优化图割模型，虽然在使用少量用户交互下能够同时提取重复元素，但是该方法在处理重复元素与背景具有相似颜色的情况时是失效的。

针对以上问题，本项目考虑结合重复元素在颜色、纹理、形状等多个外观特征，增强基于单个特征的相似性度量机制，进一步提升重复元素检测的准确性；同时利用重复元素检测结果，构建局部动态轮廓传播模型，达成重复元素同时提取，从而保证提取的时间效率。图 3.1 为我们提出的图像场景中重复元素提取方法的算法流程图，主要包括重复元素检

测和重复元素提取两个阶段，该方案的具体实现步骤如下：

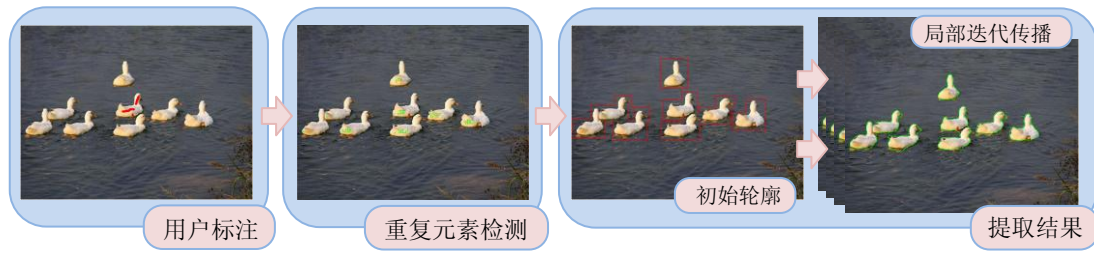


图 3.1：图像场景中重复元素提取流程图

a) 用户标注：用户仅对图像场景中某一个感兴趣的目标对象进行标记，此时，标记的目标对象需要满足清晰可辨且具有大尺寸的特点。我们从已标记区域中获取的颜色和纹理信息将被用于后续重复元素的检测。需要特别指出的是，我们仅考虑前景对象（重复元素）之间的相似关系，因此有效避免了复杂背景对前景对象的干扰。

b) 重复元素检测：根据用户标记的目标对象的大小，将图像划分成相互重叠的图像子块。首先，利用图像中的梯度信息计算每个图像子块二阶矩（二阶矩通常反映子块内的空间亮度变化）；然后，采用基于仿射变形的块匹配方法，在空间上相邻的图像子块之间进行形状差异度量，获得候选重复元素集；最后，结合已标记区域的颜色和纹理信息，在候选重复元素集之间进行相似性度量，确定在用户指定阈值范围内的图像子块为图像场景中的重复元素。其中，我们采用 Gabor 小波变换在多尺度和多方向上统计纹理特征信息。此外，还增加重复场景元素之间在空间距离上的约束，使得尽量避免同一区域内的冗余检测。

c) 重复元素提取：我们利用改进的可变水平集方法（Variational Level Set Approach）局部迭代地分割图像场景中的重复元素，在精确检测所有重复元素的基础上，使得能够自动地在重复元素上放置初始传播轮廓，通过借助于水平集函数表示的轮廓在演变过程中具有拓扑结构分离与合并的特性，最终达到重复场景元素同时提取的目的。为了获得高精度的重复元素提取，根据颜色模式或纹理模式的连续性，重定义边界检测函数 g ：

$$g = \begin{cases} \frac{1}{1 + |\nabla G_\sigma * I(x, y)|}, & \Omega \in \Omega_{IC} \\ \frac{1}{1 + |D(T_{user}, T_{front}(x, y))|}, & \Omega \in \Omega_{PC} \end{cases} \quad (1)$$

其中， Ω 为待提取区域， Ω_{IC} 表示灰度模式连续的区域， Ω_{PC} 表示纹理模式连续的区域。 ∇ 为梯度算子； $G_\sigma * I$ 表示图像 I 和高斯平滑滤波器 G_σ 的卷积。 T_{user} 是用户标记区域的纹理模式特征； T_{front} 是传播过程中各像素点的纹理模式特征； D 是距离函数，用于度量 T_{user} 和 T_{front} 之间纹理特征的差异。由此，轮廓的演变将在呈现最大梯度或纹理模式突变的地方停止传播，使得能够有效地提取重复元素，尤其当这些重复元素具有低分辨率或模糊的边界。在

已检测的重复场景元素区域内/外放置初始轮廓后，通过偏微分方程（PDE）求解计算可变水平集函数。在具体实现中，可采用向前差分的数值框架迭代地进行动态轮廓的传播。

本项目考虑采用可变水平集方法进行重复元素提取，关键在于该方法不仅解决了传统水平集函数在曲线演化过程中呈现不规则性的问题，使得水平集函数始终保持为一个带符号的距离函数，还能够结合相似性检测机制，仅需要标记一个感兴趣的目标对象即可同时提取其他重复元素。另一方面，我们对已抽取的重复元素进行替换、重排、变形等操作，从而对图像进行相应的编辑处理。

2) 基于时空关联的视频中重复元素提取方法

视频对象提取是将图像对象提取技术扩展到视频领域，即从视频序列帧中提取出具有语义的视频对象。目前，视频对象提取方法大致分为两大类，包括基于视频体的视频对象提取方法和基于关键帧分割结果传播的视频对象提取方法，如图 3.2 所示。一方面，当使用这些方法处理视频中多个目标对象的提取时，仍然需要逐一地提取视频场景中的各个目标对象，大量的人工交互导致提取的效率大幅降低。另一方面，视频中的多目标对象因快速运动容易产生尺寸改变、形状突变、相互遮挡、阴影增加等拓扑变化，以及视频中可能具有纹理动态的背景和复杂场景等，这些都将增加多目标对象提取的难度，使得无法获得高精度的视频多目标对象提取结果。

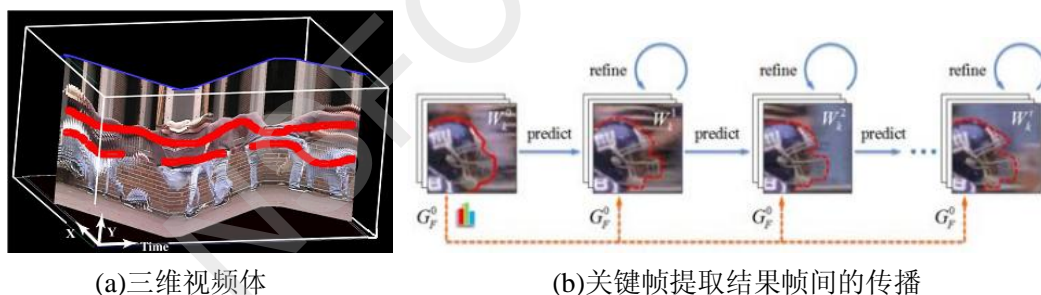


图 3.2: 两类视频对象提取方法，图片取自[14]和[17]

针对以上挑战性问题，为了实现从复杂场景中产生高精度的视频对象检测和提取，本项目在上述图像多目标提取方法研究基础上，沿用基于关键帧分割结果帧间传播的框架。这需要处理用户选取的部分关键帧，并以其分割结果为初始化，然后采用基于运动和外观约束的优化技术传播分割结果到所有其他视频序列帧。图 3.3 为我们提出的视频场景中重复元素提取框架图，关键在于保持关键帧提取结果帧间传播的连续性，该方案的具体实现步骤如下：

a) 视频关键帧分割：用户选取视频序列中的部分视频帧为关键帧，关键帧的数量依赖于视频中重复元素的运动程度，并采用本项目提出的图像多目标对象提取方法获得每一关键帧中准确的重复元素提取结果。关键帧提取结果的质量将很大程度地影响其他视频帧的分割。

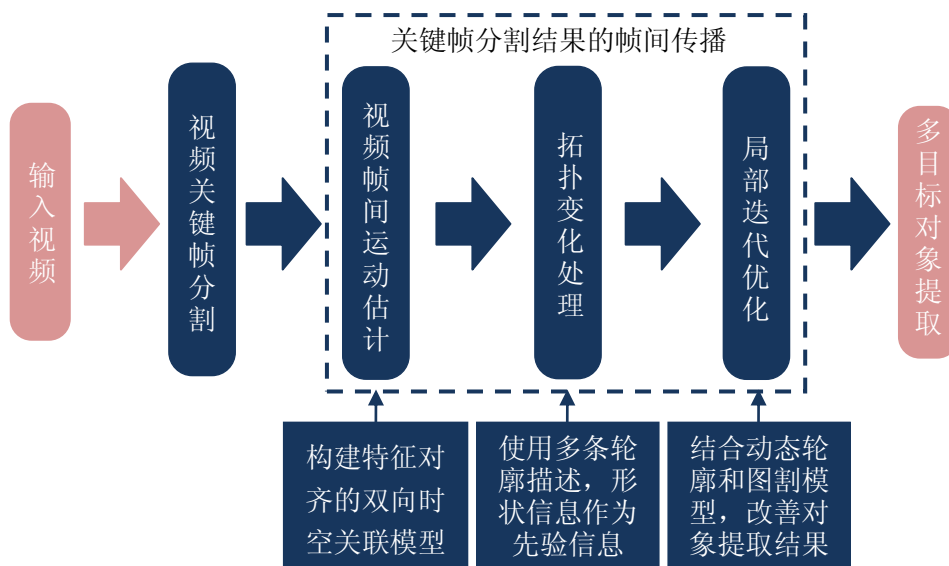


图 3.3: 视频多目标对象提取框架

b) 视频帧间的运动估计：为了连续地传播提取结果的边界轮廓到后续视频帧，使得边界轮廓尽可能地覆盖在真是目标对象的周围，这需要进行准确的视频帧间运动估计。一般情况，目标对象的形状和外观在相邻视频帧间是变化缓慢的。因此，我们在关键帧之间构建双向（向前和向后）的传播 workflow 机制，充分利用相邻视频帧之间在时空域上具有相关联特性。我们以层级的方式进行运动估计操作：在空间域上，首先根据相邻两帧中匹配的 SIFT 点特征估计一个全局仿射变换（仅使用前景对象内部的 SIFT 点特征用于匹配操作），然后使用这个变换对齐后续视频帧，这个初始的形状对齐用于捕获前景对象的大幅运动；在时域上，我们在对齐的相邻视频帧之间采用局部平均光流算法（Local Flow Averaging Approach）计算前景对象的光流。由于前景对象的运动是局部平滑的，因此局部光流能够鲁棒地进行边界轮廓估计。最终，通过合并向前和向后两个传播过程，我们计算后续视频帧的前景概率图，准确地获得边界轮廓的新位置，以此保证多目标对象提取结果传播的连续性。

c) 拓扑变化处理：由于快速的运动，重复元素之间容易产生拓扑上的改变，我们需要在传播框架中能够处理这些拓扑变化。我们允许使用多条轮廓描述任一前景对象，且不同前景对象其轮廓的数量和每条轮廓的长度并不相同。我们使用已分割视频帧的目标提取结果，从已提取前景对象中抽取形状先验信息，并将这些信息用于指导拓扑变化的处理。具体地，根据已提取前景对象的形状信息，计算当前目标对象的条件概率分布，该分布用于预测拓扑变化的方向。然后，计算边界轮廓点与最近的新的边界的偏移，并沿着局部平均位移移动这些轮廓点。当匹配的边界轮廓点在双向的传播流中发生较大位移且稀疏分布时，则增加新的边界轮廓点，以产生新的轮廓；反之，则移除重叠、密集的轮廓点，此时边界轮廓相互合并。这种方式使得传播的边界轮廓点尽可能地分布在重复元素周围，以此产生具有拓扑变化的新分割。

d) 局部迭代优化：对于仍不准确的提取结果，结合动态轮廓和区域内驱力，采用基于窄带的图割方法迭代地进行局部优化。首先，以当前提取结果为初始轮廓 C_i (i 为第个场景元素的边界轮廓)，并采用联合双边上采样方法 (Joint Bilateral Upsampling) 自适应膨胀每条动态轮廓，形成窄带区域 R_b^i ，该窄带应尽可能地覆盖重复场景元素的真实边界。然后，结合一个基于重复场景元素外观相似度量 (已在重复元素的检测步骤中定义) 的重复能量项，我们在窄带区域上设计新的基于 MRF 的图割模型，能量函数定义如下：

$$E(f) = \sum_{p \in V} D_p(f_p) + \sum_{(p,q) \in \mathcal{E}} V_{p,q}(f_p, f_q) + \sum_{i,j \in H} U_{i,j}(f_i, f_j) \quad (2)$$

其中， $D_p(f_p)$ 为数据项； $V_{p,q}(f_p, f_q)$ 为平滑项，边 (p,q) 是带区域内的 4-连通邻域边； $U_{i,j}(f_i, f_j)$ 为重复能量项，用于度量相似像素点上的标签的平滑性， H 是基于重复相似性的扩展邻域系统。以每个窄带状区域内的像素点构建图 $G = (V \cup \{s, t\}, \mathcal{E})$ ，如图 3.4 所示，且通过采用图割算法 (graph-cuts) 计算图 G 的最小代价割。重复上述局部优化直到算法收敛，或达到用户指定的最大迭代次数，最终获得高精度的视频多目标对象提取结果。

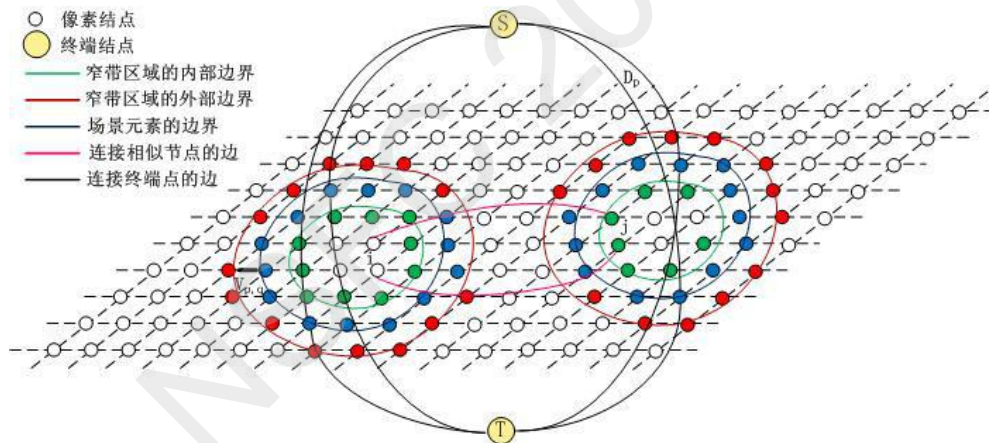


图 3.4: 图 G 的构建

可以看出，本项目关于视频对象提取的创新之处在于如何在自然场景下同时提取视频中的多个目标对象。本研究方案通过同时结合运动估计、拓扑变化处理、局部迭代优化这三个主要方面，致力于产生连续的多目标对象提取结果传播。我们构建双向的时空关联模型获得准确的运动估计，使用形状先验信息有效估计拓扑变化的趋势，以及使用基于动态轮廓和 MRF 的图割优化模型改善提取结果，最终以一种协作的、迭代的方式获得高精度的多目标对象提取结果。

3) 基于重复元素分布的几何纹理分析与合成方法

在前期研究中，项目申请人对近似规则/规则的二维纹理合成进行了研究，提出的基于基元分布的周期性纹理的分析与合成[37]是一种图形与图像相结合的方法，该方法通过分析样本纹理中各纹理元素之间的相邻关系 (2D 空间分布)，然后根据已构建的基元分布实现

了一种快速、高质量的纹理合成。在此研究基础上，本项目将该方法扩展到了 3D 几何纹理合成。为了实现从输入样本几何纹理中抽取全局拓扑结构，这要求我们主要处理的对象是由重复几何元素按照近似规则的顺序重复排列而成的几何纹理，还必须满足的必要条件是单个几何元素清晰可辨。

在此约束条件下，本项目考虑结合基于图像的建模技术获取样本几何纹理及其中离散的几何元素。不同于使用扫描仪设备进行几何重建的方法，这种从便携式照相机捕获图像序列的自动建模方法具有更大的优势。通过结构化地建模样本几何纹理，我们构建样本几何纹理的全局拓扑结构。由此，通过参照已建立的几何元素间的相邻关系，使得在平面区域或模型表面上产生新的、更大的场景元素间的空间分布。图 3.5 为本我们提出的重复几何元素合成框架，包括几何纹理分析和几何纹理合成两个阶段，该方案的具体步骤如下：

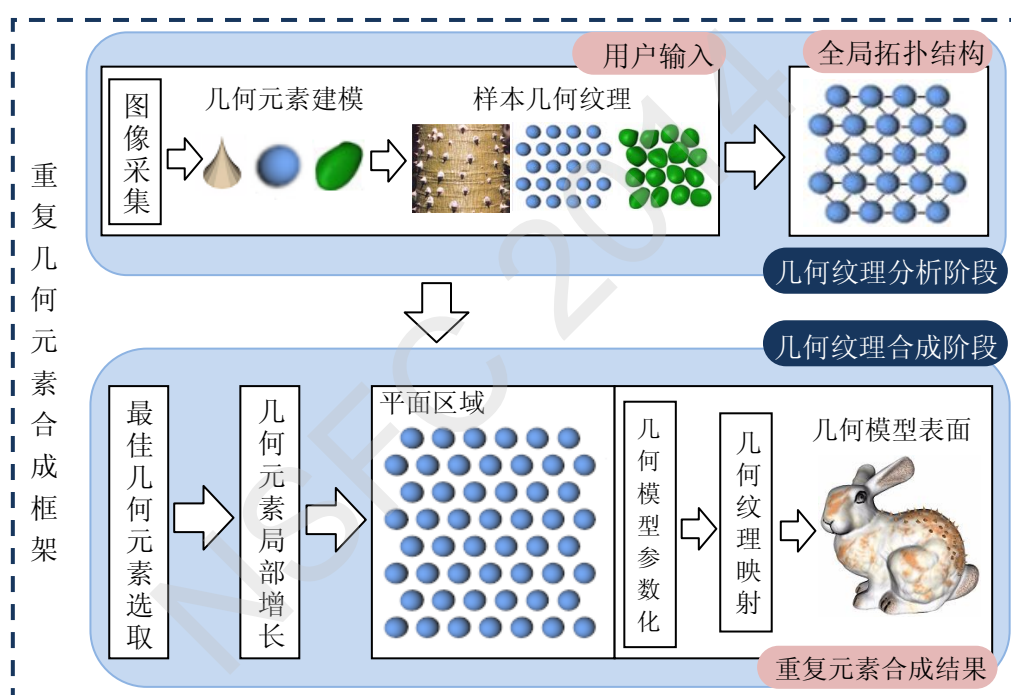


图 3.5: 重复几何元素合成框架

几何纹理分析阶段:

a) 图像采集: 在进行图像拍摄过程中, 为了排除周围环境因素(如光照、背景、干扰物体等)对待建模对象(几何元素和样本几何纹理)的影响, 我们要求拍摄的环境中具有稳定的光照条件, 以及使用纯色的背景且无任何其他干扰物体。这样做的主要目的是获取的待建对象的点云数据中应尽可能地避免干扰的噪声点。由此, 我们使用便携式摄像机从不同视角方向上对实物物体进行拍摄, 获得一定数量的图像序列。而对于具有不规则形状的物体, 可以考虑增加图像的数量。

b) 建模几何元素和样本几何纹理: 对于给定有限数量的且未标定的图像, 首先采用似稠密的方法(Quasi-Dense Approach)恢复待重建场景元素的三维点云数据; 然后, 根据恢

复的三维点云,采用 3D 水平集动态演变方法(3D level set Approach)重建场景元素的表面,这主要是由于光滑的曲面可表示为 3D 水平集函数 $u(t, x)$ 在 t 时刻的零水平级(zero level)高维平滑超曲面。而在具体实现中,通过采用数值框架迭代地逼近待重建的曲面,以此获得场景元素的几何模型。最后,采用纹理合成和纹理映射技术,将生成的纹理图像粘贴在重建的几何模型表面上,最终产生具有真实感的几何元素和样本几何纹理。

c) 构建样本几何纹理的全局拓扑结构:为了建立场景元素间的空间相邻关系,首先获得样本几何纹理中每一个几何元素的点云数据;然后,根据点云数据的颜色和位置信息,采用均值位移的聚类算法聚簇这些点云。通过计算每一个点云簇的中心,即可获得各几何元素在样本几何纹理中的位置,并记录其类别属性。最后,将这些位置点看成是三维稀疏离散点集,在空间中直接进行三角剖分(Delaunay Triangulation),即在形成初始三角形后对它周围的离散点循环三角化,直至所有三角形扩展完毕,最终获得样本几何纹理的全局拓扑结构。

几何纹理合成阶段:

a) 选取最佳几何元素:假定 e^{tar} 是当前所选种子, $\omega(e^{tar})$ 是其所有相邻种子组成的邻域(其中部分种子可能已放置场景元素),采用邻域比较方法(Neighborhood Comparisons)从样本几何纹理中找到与 e^{tar} 匹配的最佳场景元素 e^{ref} ,且它们的邻域 $\omega(e^{tar})$ 和 $\omega(e^{ref})$ 是足够相似的,如图 3.6(a)和(b)所示。(需要注意的是,这里提到的“种子”即为几何元素的位置。)在与样本几何纹理分布中所有邻域匹配之后,具有最小误差的样本场景元素 e^{ref} 即为当前所选种子 e^{tar} 的最佳几何元素。在该邻域比较方法中,两个邻域是相似的指的是这两个邻域的相对几何元素在位置和类别上具有最小差异。

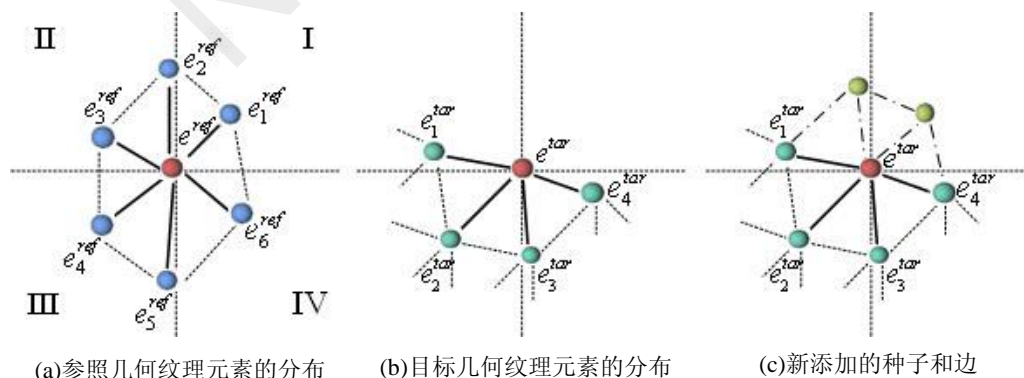


图 3.6: 邻域比较和种子添加

b) 几何元素的局部增长:在平面区域内,通过邻域比较,我们建立邻域 $\omega(e^{tar})$ 和 $\omega(e^{ref})$ 中各种子之间的一一对应关系。由此,邻域 $\omega(e^{ref})$ 中那些是邻域 $\omega(e^{tar})$ 中不存在的种子即为待添加的候选新种子(图 3.6(c)中黄绿色的几何元素)。在添加新的种子时,为了避免产生密集或稀疏的种子分布,或者出现边冲突的情况,在种子的局部增长过程中引入了冲突



检测机制，包括：邻近种子冲突、最小角冲突、边交叉冲突、过长边冲突和种子和边交叉冲突五种，如图 3.7（a-e）所示，从而有效避免几何元素间的相互挤压。

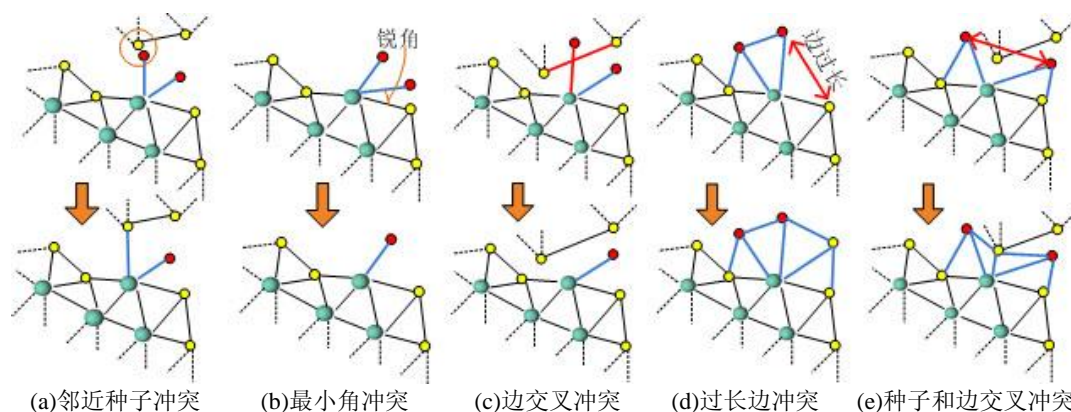


图 3.7：启发式冲突检测机制

c) 几何模型表面的重复元素合成：面向模型表面上的合成，首先定义局部面块，我们从当前所选三角面片开始，使用宽度优先搜索进行三角面片的扩张，直到达到某一深度或超过用户约束的面块大小，此时，获得的局部面块为具有最大约束的待合成的三角面片；然后，采用离散正形映射（Discrete Conformal Mapping, DMP）将面块展开成 2D 平面，基于这个参数化操作，使得能够在参数化的平面上进行几何元素的扩张，紧接着，我们将最新合成的顶点位置重投到局部坐标系中。此外，我们需要减少面块的区域，从而避免局部参数化产生较大的区域变形；其次，当几何元素具有特定的方向时，我们通过交互地指定方向向量场控制合成的方向；最后，我们采用壳映射（Shell Mapping）把选取的最佳几何元素映射到面块，即从几何空间变换到壳空间。对于几何元素的顶点，根据它在几何元素中的位置，我们可以计算出该顶点在面块上的对应点，通过一个反向投影可以得到该顶点在模型表面对应点的三维纹理坐标，从而获得几何模型表面的重复几何元素合成结果。

本项目考虑通过自动建模的方式获得用户输入，每个样本几何纹理经过几何纹理分析阶段后，只需要保存它的一组离散几何元素就可以在以后的合成过程中反复使用。在物体表面生成新的几何纹理时，只需要找出模型表面区域与几何元素的对应关系，通过一个简单的映射就可以把几何元素变换到模型表面，显著地提高了重复几何元素的生成速度。此外，我们约束几何纹理中的几何元素是相互独立的，因而在合成时不必考虑几何元素间的融合和变形等问题，从而降低了几何纹理合成的难度。

2.3.2 可行性分析

针对上述研究内容和研究方案，申请人将从项目选题、研究基础、工作平台、研究团队等四个方面阐述项目实施的可行性，充分论证本项目关于可视媒体场景中重复元素提取与合成技术研究中项目选题的创新性、研究基础的扎实性、工作平台的支撑性和团队组成的合理性。



- 1) 在项目选题方面, 申请人以攻读博士学位期间参与的两个国家 973 子课题“可视媒体交互与融合处理(2006CB303105)”、“网络可视媒体的语义分析与信息整合(2011CB302203)”和一个上海市科委“科技创新行动”信息技术领域重点科技项目“网络可视媒体的素材融合与动画创作关键技术研究(10511501200)”为重要依据, 通过深入分析国内外关于可视媒体编辑与处理邻域内的研究现状和发展趋势, 致力于寻求可视媒体场景中重复元素的提取与合成方面的创新理论和技术突破, 切实解决其中存在的提取效率低、结果精度不足、合成过程复杂等关键问题, 从而进一步提升可视媒体编辑与处理的效率和质量。总体上看, 本项目整体选题符合可视媒体资源深度开发的迫切需要, 有望促进我国数字内容产业的快速发展, 立意明确、依据充分、技术创新、成果可期, 具有前瞻性研究意义。
- 2) 在研究基础方面, 申请人攻读博士学位期间一直从事可视媒体编辑与处理关键技术的研究, 在图像/视频分割、二维纹理合成、数字几何重建等方面有较深刻的认识和理解, 取得的创新性研究成果已经在《The Visual Computer》、《Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing》、《Journal of Zhejiang University Science C (Computers & Electronics)》等国内外权威期刊以及 CGI2010、VRCAI2011、CMSP2011、ICALIP2012 等国际会议上发表。项目组的其他成员同样长期从事计算机图形学、图像/视频编辑处理、计算机视觉与模式识别等方面的研究工作, 已经在《IEEE Transaction on Intelligent Transportation System》、《Computational and Mathematical Methods in Medicine》等国际权威期刊上发表多篇高水平学术论文, 也为本项目的开展积累了丰富的研究经验。
- 3) 在工作平台方面, 本项目依托长沙理工大学计算机科学与技术系, 该系以数字媒体技术的理论研究与技术为切入点, 着重在计算机图形学、计算机动画、数字图像处理、计算机视觉、模式识别等领域加强学术研究和人才培养, 近三年来承担国家自然科学基金、湖南省自然科学基金等省部级以上科研项目 10 余项, 取得了一批有影响的科研成果, 在《中国科学》、《计算机学报》、《软件学报》、《通信学报》等国内、外学术期刊和会议上发表科研论文 100 多篇。依托单位为本项目的开展提供了良好的科研平台, 有望保证本项目中研究目标的实现。
- 4) 在研究团队方面, 项目申请人博士毕业于上海交通大学计算机应用技术专业, 现为长沙理工大学计算机与通信工程学院、计算机科学与技术系讲师, 主要从事计算机图形学、图像与视频编辑处理、计算机动画等方面的研究工作。项目申请人参与了多项国家级科研项目, 包括国家 973 子项目、863 目标导向类项目、自然科学基金面上项目等; 发表 SCI/EI 学术论文 9 篇, 其中两篇期刊论文发表在国际权威的图形学期刊《The Visual Computer》。项目组的其他 3 位主要参与者刘理博士、吴宏林博



士、陈沅涛讲师（博士在读）也都一直从事数字图像处理、计算机视觉、模式识别等方面的研究，他们为本项目的整体方案、算法研究、项目管理等方面提供了有力的支持。另外，项目申请人的博士导师马利庄教授作为国内外计算机图形与图像领域的知名学者，其研究团队也为本项目的实施给予了指导和支持。总体而言，整个项目组由具有扎实理论基础的研究人员和具有经验丰富的计算机编程及系统设计的开发人员组成，这样的研究团队为本项目的顺利完成提供了可靠的保证。

通过对以上项目选题、研究基础、工作平台、研究团队四个方面的阐述与分析，充分说明本项目提出的研究内容和研究方案是合理的、切实可行的。

（4）本项目的特色与创新之处。

本项目研究可视媒体场景中重复元素提取与合成技术，主要包括图像多目标对象提取、视频多目标对象提取、基于几何纹理的重复元素合成等关键技术，重点在于解决提取与合成过程中存在的提取效率低、结果精度不足、合成过程复杂等瓶颈问题。本项目课题属于国际前沿性的研究，具有重大的理论和应用价值。本项目的创新点如下：

- 1) **提出基于局部动态轮廓的重复元素提取方法**，新方法不再需要考虑图像域内复杂背景对前景对象的影响，在提供尽可能少的用户交互情况下，实现了重复元素的精确检测及同时提取，极大的提高了对象提取的时间效率，且进一步改善了对象提取的准确性。
- 2) **提出基于时空关联的视频中重复元素提取方法**，新方法消除了重复元素因快速移动造成的多目标对象提取结果视频帧间传递的不连续现象，结合特征对齐约束下构建双向的时空关联模型、自适应拓扑变化处理、迭代的局部优化，实现了高精度视频对象提取，保证了提取结果时空的一致性。
- 3) **提出基于重复元素分布的几何纹理分析与合成方法**，新方法并不直接操作于样本几何纹理，而是利用几何纹理内在的拓扑结构及重组几何纹理元素进行重复元素合成的，大幅加快了合成的速率。此外，新方法擅长处理具有规则拓扑结构的几何纹理，合成结果能够很好地保持重复几何元素的完整性和连续性。

（5）年度研究计划及预期研究结果。（包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等）

2.5.1 年度研究计划

2015.01 – 2015.12

- 1) 分析与总结国内外最新相关的图像对象提取技术与方法。



- 2) 构建优化的动态轮廓模型。
- 3) 完成基于多特征空间的重复元素检测方法, 包括抽取图像域内的颜色、纹理、形状等特征, 定义重复元素相似性度量的距离公式等。
- 4) 完成改进的可变水平集图像分割算法, 包括建立相似重复元素间的连接关系、定义边界检测函数、确定迭代的数值求解框架等。
- 5) 完成约 4 篇学术论文和年度报告。

2016.01 – 2016.12

- 1) 分析与总结国内外最新相关的视频对象提取技术与方法。
- 2) 构建特征对齐的双向时空关联模型。
- 3) 完成基于时空关联的视频多目标对象提取方法, 包括局部运动估计、建立双向传播 workflow 框架、拓扑变化处理等。
- 4) 完成基于迭代窄带的图割优化算法, 包括结合动态轮廓模型和图割模型、定义基于动态轮廓的图割能量函数等。
- 5) 完成约 4 篇学术论文和年度报告。

2017.01 – 2017.12

- 1) 分析与总结国内外最新相关的几何纹理合成技术与方法。
- 2) 自动构建几何纹理的全局拓扑结构, 包括几何元素的定位、几何元素间相邻关系的获取。
- 3) 完成邻域比较方法, 包括定义邻域的组成、建立各邻域内对应邻元间的匹配关系、定义度量邻域间差异的误差函数等。
- 4) 完成几何模型表面重复元素合成方法, 包括最佳匹配几何元素的选取, 模型表面重复元素的局部增长、引入冲突检测机制等;
- 5) 完成约 4 篇学术论文和年度报告。

2.5.2 预期研究成果

- 1) 获得基于可变水平集图像分割的重复元素提取方法。
- 2) 获得基于时空关联的视频中重复元素提取方法。
- 3) 获得基于全局拓扑结构化的几何纹理分析与合成方法。
- 4) 实现基于重复元素提取与合成的可视媒体编辑原型系统。
- 5) 完成高水平学术论文 12 篇, 其中 SCI/EI 收录的期刊论文 4-6 篇, 申请国家发明专利或软件著作权 2 项, 培养硕士生 6 名。



3. 研究基础与工作条件

(1) 工作基础(与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩)

项目申请人一直从事计算机图形学、数字图像/视频处理等领域的研究,在纹理合成/视频纹理合成、图像/视频分割与修补、流体动画等方面取得了一些创新性的研究成果,相关的研究成果已在国内外权威期刊和会议上录用和发表,为本项目的开展奠定了坚实的研究基础。项目申请人也参与并开发了可视媒体素材编辑处理平台,为本项目的研究工作提供了可靠的保证。与本项目相关的主要研究成果如下:

1) 基于基元分布的周期性纹理的分析与合成

由于现有的基于马尔科夫随机场模型(MRF Model)的纹理合成方法不能很好地处理近似规则的二维纹理,由于合成的结果中不能保持样本纹理中纹理元素的完整性,合成质量较差。因此,我们提出了一种基于基元分布的纹理合成新框架,目标在于利用样本纹理中基元间的相邻关系,实现快速、高质量的纹理合成。在此框架中,主要包括纹理分析和纹理合成两个阶段。纹理分析过程是分割纹理成单个的基元,以及在样本纹理中检测每一个基元以至于通过建立连通性去分析基元之间的相邻关系;纹理合成过程是在用户指定的画布上通过重组已分割的基元产生一新的、更大的纹理图像。实验结果显示,我们提出的方法擅长于合成近似规则的纹理,并能很好地保持其潜在的规律性。该研究成果发表在国际会议 CGI'10 上,并作为“best paper”在国际权威期刊《The Visual Computer》上发表,SCI 收录。(桂彦、马利庄等,2010)

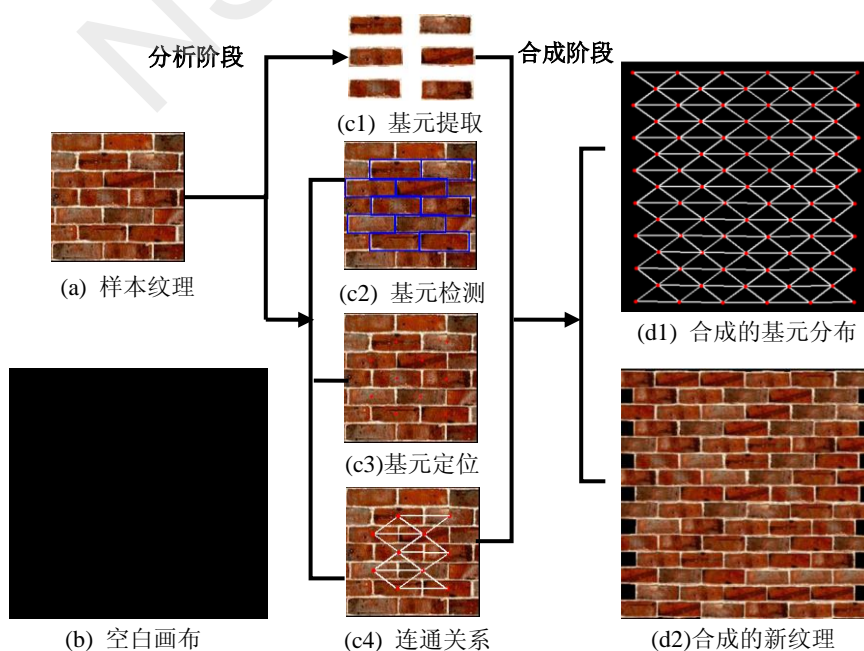


图 1: 基于基元分布的纹理合成算法框架图



2) 基于重复纹理元素的规则/近似规则纹理的拓扑描述

通过结合重复纹理元素的检测和重复纹理元素间的相邻关系的抽取，我们提出了一种基于重复纹理元素的规则/近似规则纹理的拓扑描述方法。在该方法中，我们主要采用基于仿射变换的相似性度量方法检测样本纹理中的重复纹理元素。此外，根据各重复纹理元素的大小、位置和类别等特征属性信息，我们采用三角剖分方法构建重复元素间的空间分布，以此获得规则/近似规则纹理的拓扑结构。将该方法用于描述具有重复场景元素的图像，除了能够准确地检测出场景中每一个重复元素，同时还能描述场景中潜在的全局拓扑结构。该研究成果已发表在国际会议 CMSP'11 (2011 International Conference on Multimedia and Signal Processing) 上，EI 收录。(桂彦、陈敏刚、马利庄等，2011)

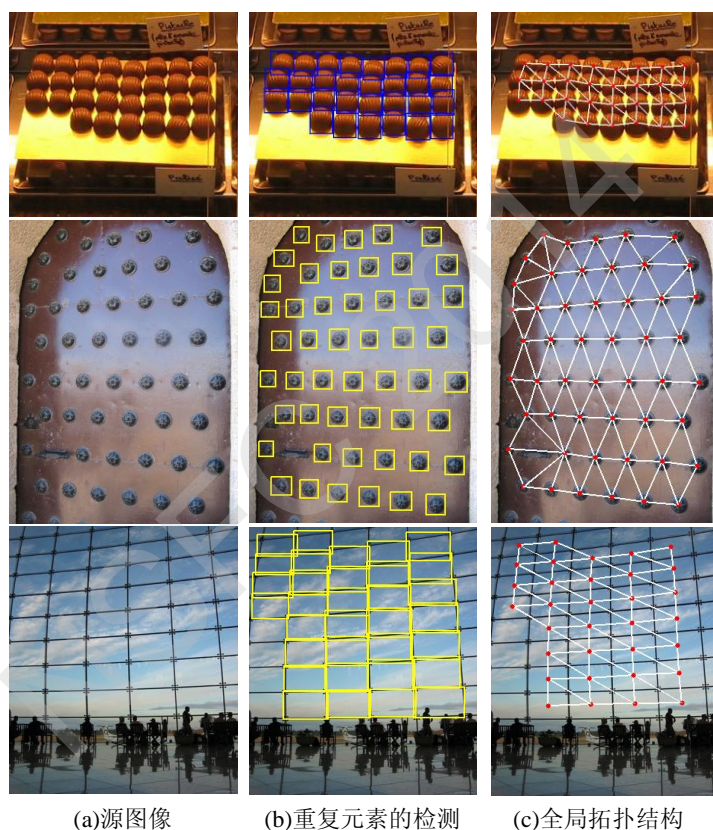


图 2：重复元素检测即全局拓扑结构描述

3) 基于特征描述的纹理合成

针对结构显著的二维纹理，现有基于块的纹理合成技术是从给定的样本纹理中生成一幅新的纹理，但是这类方法存在的问题是由于不精确的相似性度量导致块重叠区域出现结构的误匹配。我们提出了一种基于特征描述的纹理合成方法，该方法利用有效的度量机制测量结构的相似性，能够在样本块采样过程中能够找到最佳匹配块。算法核心是首先引入层的概念通过给每个像素赋权值描述像素的关联性，然后构建方向场捕获纹理特征内在的方向和布局。实验结果显示，该方法能够显著地减轻已合成纹理中结构特征的不连续。该研究成果已发表在国际权威期刊《Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing》上，SCI 收录。(桂彦、谢志峰、马利庄等，2012)



图 3: 纹理合成结果

4) 基于样本视频编辑的单幅图像的流体动画合成

在流体动画方面，我们设计了一个能够从具有似流体区域的静止图像中合成连续流体动画的系统。对于给定一幅待驱动的目标图像，通过使用该系统，我们能够快速地给目标图像中的流体区域添加合理的运动。由于该方法能够全局地传递样本视频的流体特征，使得合成的流体动画能够保持较大尺度的流体结构。另一方面，通过自动地传递视频帧的运动来获得目标图像的流场信息，这个过程能够极大地减少用户交互。该研究成果已发表在国际权威期刊《Journal of Zhejiang University Science C (Computers & Electronics)》上，SCI 收录。（桂彦、马利庄、陈志华等，2012）

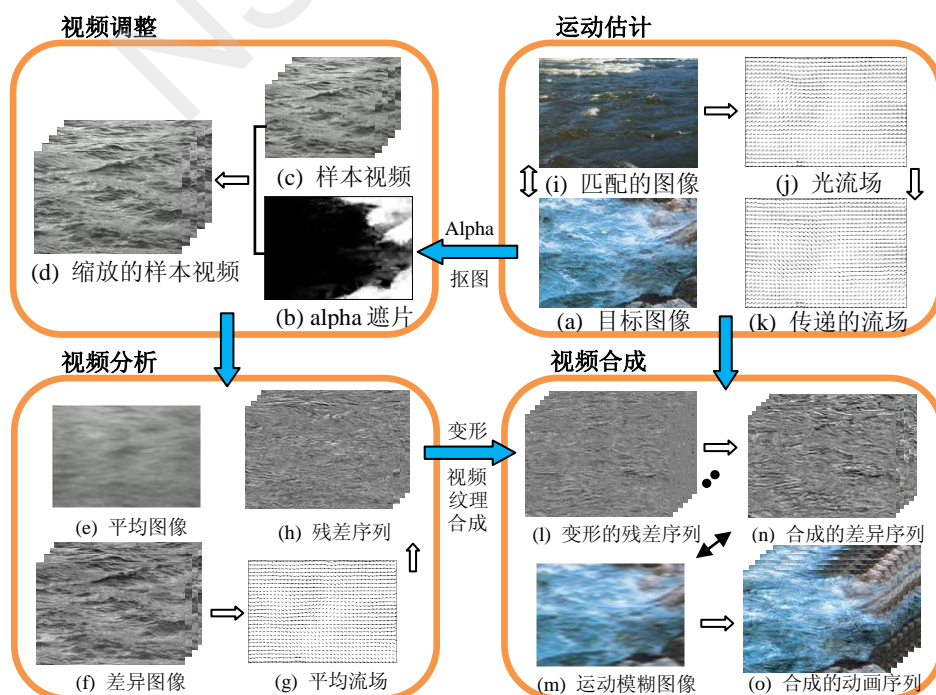


图 4: 全局特征保持的流体动画合成系统



5) 基于层次化帧结构匹配的交互式视频分割方法

在视频分割方面，项目申请人参与了基于层次化帧结构匹配的交互式视频分割方法的研究工作。该方法利用了视频帧预处理后的层次化结构特性，在相邻帧间寻找最优匹配，同时给出了基于视频帧匹配的视频分割方法的形式化描述，实现了基于层次化帧结构匹配的交互式视频分割系统工具。相对于其它视频分割方法，该方法分割计算效率高、保持较好的分割结果时空一致性，并为用户提供了直观的交互界面。该研究成果已在国际会议 ACM SIGGRAPH VRCAI'11 上发表，EI 收录。（陈敏刚、马利庄等人，2011）

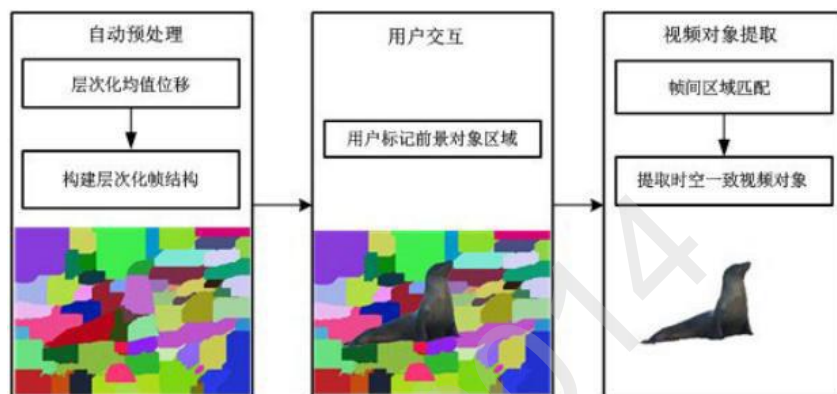


图 5：视频交互式分割系统框架图

6) 基于多层带状的视频分割方法

项目申请人还参与了陈敏刚等人提出的基于多层带状的视频分割方法的研究。该方法在低分辨率层次上进行分割和传播结果，并在高分辨率层次上逐步精化，从而可以在视频帧之间鲁棒地传播结果。同时，该方法限制分割和传播过程在一个窄带区域内，使得基于 Graph Cut 的图割算法的时间和空间耗费大幅减少。该研究成果已在国际权威期刊《Science China Information Sciences》上发表，SCI 收录。（陈敏刚、马利庄等人，2012）

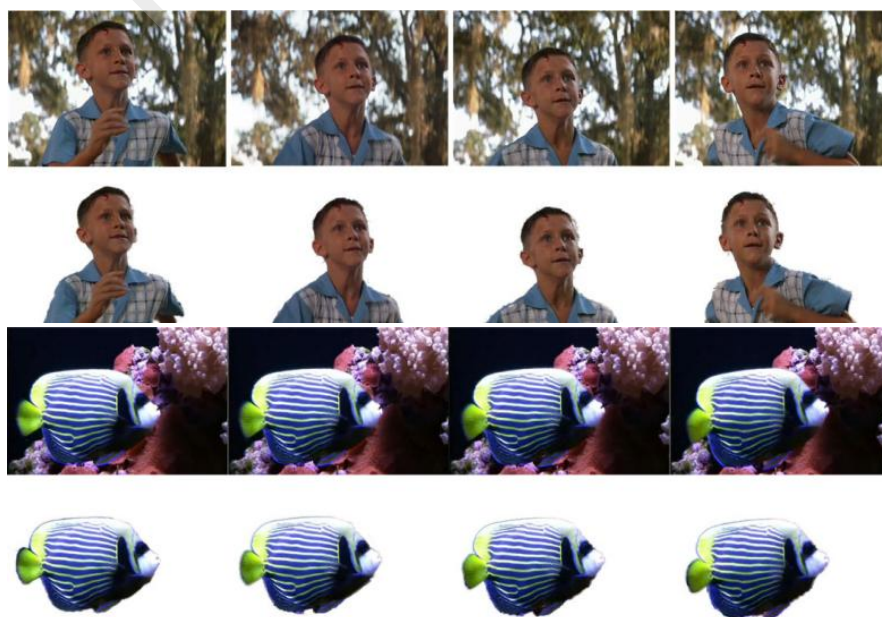


图 6：部分视频分割结果



7) 网络可视媒体素材编辑处理平台

上海市科委“科技创新行动”信息技术领域重点科技项目“网络可视媒体的素材融合与动画创作关键技术研究(10511501200)”,面向动画节目制作需求,针对网络可视媒体海量、多源的特点,开发可视媒体素材的编辑工具集,实现视频素材的高效重用,提高动画创作与生成的效率。申请人在读博期间主要从事动画生成中后期处理部分的研发工作,主要是针对生成的动画视频的编辑与处理,从而为后期制作人员提供视频编辑工具集。因此,我们设计并实现了网络可视媒体素材编辑与动画创作原型系统,该系统是一个半自动化且易于用户交互的系统,特色功能包括图像的快速抠取和融合、去运动模糊、图像和视频的纹理合成、风格化、图像色调转移等。(陈敏刚、桂彦、马利庄等,2012)

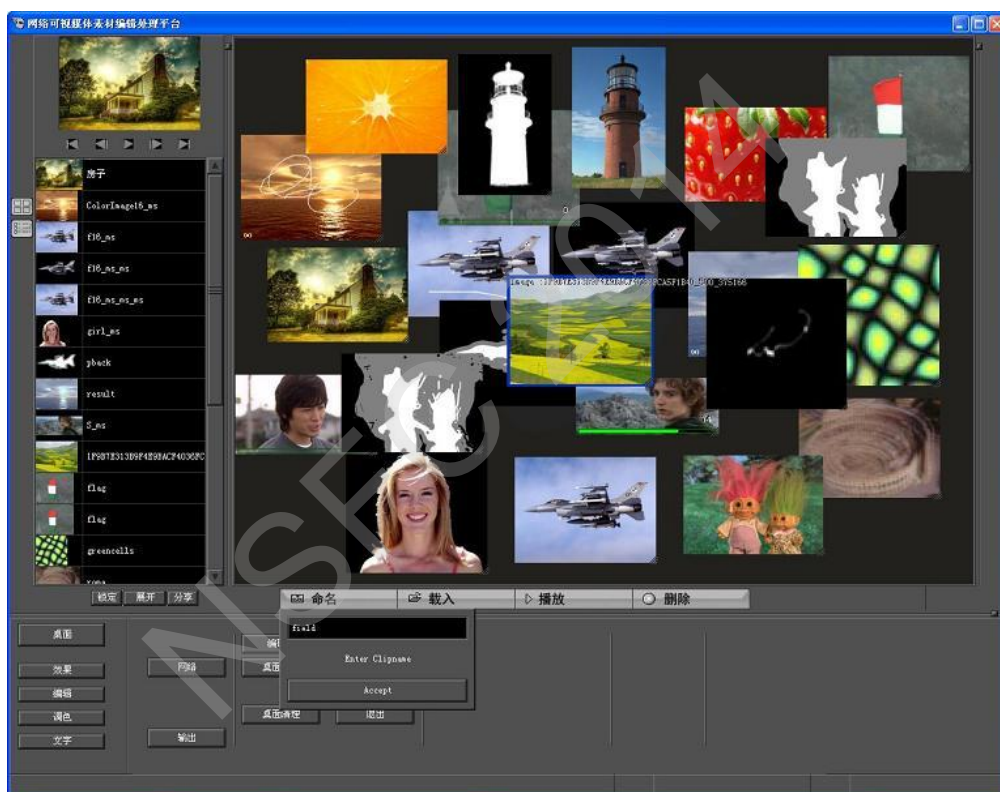


图 7: 网络可视媒体素材编辑处理平台

(2) 工作条件(包括已具备的实验条件,尚缺少的实验条件和拟解决的途径,包括利用国家实验室、国家重点实验室和部门开放实验室等研究基地的计划与落实情况)

项目依托单位长沙理工大学是国家“中西部高校基础能力建设工程”高校,同时也是湖南省所属的重点大学。项目申请人所在的计算机与通信工程学院拥有视觉实验室、物品编码和自动识别工程技术研究中心,脑机接口及脑信息处理实验室,嵌入式系统及传感器网路实验室等先进的研究型实验室。而所在的视觉实验室主要的研究方向包括:数字媒体信息处理、稀疏表示与图像处理、机器感知与交通安全等。同时学院为加强基础实验室建



设,拥有各类教学科研仪器设备 3800 台(套)。这些为本项目的研究提供了优越的软硬件环境。

此外,项目申请人以博士阶段所在的上海交通大学计算机科学系马利庄教授领导下的“数字媒体与数据重建”实验室作为学习与交流平台。自 2002 年以来,该实验室主要从事几何造型、基于图像的重建、基于图像的绘制、计算机动画、数字图像/视频处理等方向的研究。同时在硬件条件上,实验室具有 50 多台高性能微机和服务、若干高性能数码相机等设备、初步建立了高精度的图像视频数据获取平台,以及多套 Maya、3dMax 等 3D 建模与多媒体处理软件。这些为本项目的顺利完成提供了丰富的资源。

综上所述,项目组已具备的实验条件良好,可以满足项目研究的需要。

(3) 承担科研项目情况(申请人正在承担或参加科研项目的情况,包括自然科学基金的项目。要注明项目的名称和编号、经费来源、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等)

无。

(4) 完成自然科学基金项目情况(对申请人负责的前一个已结题科学基金项目(项目名称及批准号)完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该已结题项目研究工作总结摘要(限 500 字)和相关成果的详细目录)

无。

4. 研究成果

主要论著(近 3 年来已发表的与本项目有关的主要论著目录和获得学术奖励情况,按以下格式填写)

期刊论文:

- [1] Gui Y. *, Ma L.-Z., Periodic Pattern of Texture Analysis and Synthesis based on Texels Distribution, The Visual Computer, 26(6-8), pp.951-964, 2010. (SCI 期刊, 检索号: 000278135800055)
- [2] Xie Z.-F.*, Lau R., Gui Y., Chen M.-G. and Ma L.-Z., A-Gradient-domain-based Edge-preserving Sharpen Filter, The Visual Computer, The Visual Computer. 28(12), pp.1195-1207, 2012. (SCI 期刊, 检索号: 000310538700005)
- [3] Gui Y. *, Ma L.-Z., Yin C., Chen Z.-H., Preserving Global Features of Fluid Animation from a Single Image using Video Examples, Journal of Zhejiang University Science C (Computers & Electronics), 13(7), pp.510-519, 2012. (SCI 期刊, 检索号: 000306126400002)
- [4] Gui Y. *, Chen M.-G., Xie Z.-F., Ma L.-Z., Zhihua Chen, Texture Synthesis based on Feature Description, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 6(3),



pp.376-388, 2012. (SCI 期刊, 检索号: 000305075000006)

会议论文:

- [1] Zhong Z.*, Gui Y. and Ma L.-Z., An Automatic Image and Video Colorization Algorithm based on Pattern Continuity, International Conference on Audio, Language and Image Processing, Jul.16-18, pp.531-536, Shanghai, China, 2012, Presentation. (EI 会议)
- [2] Yin C.*, Gui Y., Xie Z.-F., Ma L.-Z., Shape Context Based Video Texture Synthesis from Still Images, International conference on computational and information sciences, Oct.21-23, pp.38-42, Chengdu, China, 2011, Presentation. (EI 会议)
- [3] Li Y.*, Xie Z.-F., Sheng B., Gui Y., Ma L.-Z., Seamless Image Composition with Coherent Tone Adjustment, The 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry, Dec.11-12, pp. 149-154, Hong Kong, China, 2011, Presentation. (EI 会议)
- [4] Gui Y.*, Chen M.-G., Ma L.-Z., Chen Z.-H., Texel Based Regular and Near-Regular Texture Characterization, International Conference on Multimedia and Signal Processing, May.14-15, pp.266-270, Guilin, China, 2011, Presentation. (EI 会议)
- [5] Xia A.-J.*, Gui Y., Yao L., Ma L.-Z., Lin X., Exemplar-Based Object Removal in Video Using GMM, International Conference on Multimedia and Signal Processing, May.14-15, pp.366-370, Guilin, China, 2011, Presentation. (EI 会议)

奖励:

- [1] 桂彦, 学术之星银奖, 上海交通大学数字媒体与数据重建实验室, 学术进步奖, 二等奖, 2011
- [2] 桂彦, Anita Borg 计算机学科女性奖学金, Google 中国, 奖学金, 2010

专利:

- [1] 桂彦、马利庄, 基于基元的纹理设计与合成方法, 2011.11, 中国, 201110350537.7

5. 经费申请说明

购置单项经费 5 万元以上固定资产及设备, 须逐项说明与项目研究的直接相关性及其必要性。

申请经费 **25.00** 万元, 开支预算如下:

一、研究经费: 共计 **18.00** 万元

1. 科研业务费: 13.60 万元

(1) 测试/计算/分析费: 用于相关软件测试、数据测试、几何建模、图像/视频采集, 三年共计 2.00 万元。



(2) 能源动力费：用于实验室和办公室设备，包括电脑、空调等，运行产生的电费，三年共计 1.00 万元。

(3) 会议费/差旅费：用于项目组成员每年参加国内学术会议、学术交流、项目调研等需要支付差旅费和会议注册费。每人每次差旅费，包括城市间交通费、食宿及市内交通费，共计需 $0.20 \text{ 万元} \times 10 \text{ 人次} \times 3 \text{ 年} = 6.00 \text{ 万元}$ 。

(4) 出版物/文献/信息传播费：用于国内、国内论文版面费、会议注册费，需 $12 \text{ 篇} \times 0.25 \text{ 万元/篇} = 3.00 \text{ 万元}$ ；用于申请发明专利和软件著作权，需 $2 \text{ 项} \times 0.50 \text{ 万元/项} = 1.00 \text{ 万元}$ ；用于文献检索及购买、网络使用费和通讯费等，三年共计需 0.60 万元；共计 4.60 万元。

2. 实验材料费：1.00 万元

(1) 原材料/试剂/药品购置费：VCD/DVD 光盘、U 盘、移动硬盘、纸张、墨盒、硒鼓耗材等，需 0.60 万；相关正版软件购置费，需 0.40 万元；共计 1.00 万元。

3. 仪器设备费：3.40 万元

(1) 购置费：用于购买具有高效处理能力的微机 2 台，需 $0.60 \text{ 万元/台} \times 2 = 1.20 \text{ 万元}$ ；能够捕获高分辨率静态图像的数码相机 1 台，需 $0.60 \text{ 万元/台} \times 1 = 0.60 \text{ 万元}$ ；能够抓捕高清视频的数码摄像机一台，需 $0.80 \text{ 万元/台} \times 1 = 0.80 \text{ 万元}$ ；共计 2.60 万元。

(2) 试制费：用于搭建视频/红外采集系统及平台，需 0.80 万元。

二、国际合作与交流费：2.00 万元

1. 项目组主要成员参加 1 次国际高水平学术会议，并进行相关学术交流，用于往返交通及食宿费用，需 1.00 万元。

2. 项目组邀请国外学者来华进行学术交流与合作，用于往返交通及食宿费用，需 1.00 万元。

三、劳务费：3.75 万元

劳务费占总经费的 15%，用于项目研究期间，直接参加研究工作的博士、博士生和硕士生的劳务费用，需 $25 \text{ 万元} \times 15\% = 3.75 \text{ 万元}$ 。

四、管理费：1.25 万元

按照规定，管理费为总经费的 5%，用于项目组织实施及单位管理，需 $25 \text{ 万元} \times 5\% = 1.25 \text{ 万元}$ 。

6. 其他需要说明的问题

无。



附件信息

序号	附件名称	备注	附件类型
1	代表性论著	四篇国际期刊论文，均被SCI收录	其他
2	国际学术会议大会报告邀请信	国际学术会议CGI 2010	其他

NSFC 2014



签字和盖章页

申请人： 桂彦

依托单位： 长沙理工大学

项目名称： 利用外观相似性和全局拓扑结构的重复元素提取与合成技术研究

资助类别： 青年科学基金项目

亚类说明：

附注说明：

申请人承诺：

我保证申请书内容的真实性。如果获得资助，我将履行项目负责人职责，严格遵守国家自然科学基金委员会的有关规定，切实保证研究工作时间，认真开展工作，按时报送有关材料。若填报失实和违反规定，本人将承担全部责任。

签字：

项目组主要成员承诺：

我保证有关申报内容的真实性。如果获得资助，我将严格遵守国家自然科学基金委员会的有关规定，切实保证研究工作时间，加强合作、信息资源共享，认真开展工作，及时向项目负责人报送有关材料。若个人信息失实、执行项目中违反规定，本人将承担相关责任。

编号	姓名	工作单位名称	项目分工	每年工作时间(月)	签字
1	刘理	长沙理工大学	算法研究	8	
2	吴宏林	长沙理工大学	算法研究	8	
3	陈沅涛	长沙理工大学	算法研究	8	
4	欧阳瑞彬	长沙理工大学	算法研究	8	
5	杨弄影	长沙理工大学	算法研究	8	
6	成韵姿	长沙理工大学	算法实现	8	
7	黄峻	长沙理工大学	算法实现	8	
8	王培玉	长沙理工大学	算法实现	8	
9	周威	长沙理工大学	算法实现	8	

依托单位及合作研究单位承诺：

已按填报说明对申请人的资格和申请书内容进行了审核。申请项目如获资助，我单位保证对研究计划实施所需要的人力、物力和工作时间等条件给予保障，严格遵守国家自然科学基金委员会有关规定，督促项目负责人和项目组成员以及本单位项目管理部门按照国家自然科学基金委员会的规定及时报送有关材料。

依托单位公章

日期：

合作研究单位公章1

日期：

合作研究单位公章2

日期：