# 鱼眼成像全景漫游系统的研究

[第1章 绪论 2](#_Toc433745032)

[1.1 研究背景 2](#_Toc433745033)

[1.2 虚拟现实的应用领域 2](#_Toc433745034)

[1.3 场景漫游的两种实现方式 3](#_Toc433745035)

[1.4 国外研究现状 3](#_Toc433745036)

[1.5 国内研究现状 3](#_Toc433745037)

[1.6 论文的结构安排 4](#_Toc433745038)

[第2章 鱼眼图像有效区域的提取 5](#_Toc433745039)

[2.1 鱼眼镜头的成像原理 5](#_Toc433745041)

[2.2 图像有效区域轮廓的提取 5](#_Toc433745042)

[2.2.1 各种提取方法的比较 5](#_Toc433745046)

[2.2.2 改进的线扫描法——变角度线扫描法 6](#_Toc433745047)

[第3章 眼图像的校正 9](#_Toc433745048)

[第4章 畸变图像到视球面的转化 10](#_Toc433745049)

[第5章 视球面向平面的转化 11](#_Toc433745050)

[第6章 多幅鱼眼图像的全景拼接 14](#_Toc433745051)

[第7章 全景漫游的实现 15](#_Toc433745052)

[第8章 总结 16](#_Toc433745053)

[第9章 展望 17](#_Toc433745054)

[第10章 致谢 18](#_Toc433745055)

[第11章 参考文献 19](#_Toc433745056)

## 绪论

本章首先阐述课题的研究背景，以及虚拟现实的应用领域，说明虚拟现实发展的巨大潜力。同时对比国内外的研究现状，导出场景漫游的具体研究方向，并介绍了实现场景漫游的两种主要的实现方式。最后介绍本文的研究内容以及文章的组织结构。

### 研究背景

本课题来源于项目：智能交通监控——黄色网格线内违章停车检查。得到天津市创新基金(13ZXCXGX40400, 13ZXCXGX40500)、天津市小巨人创新基金(2012-XJR21017)资助。

虚拟现实技术涉及的领域比较宽广，包括人工智能、传感器技术、计算机图形学、多媒体技术以及网络技术等众多方面，是这些技术领域的集成。它通过人工仿造或创造媒体空间，产生虚拟场景，能够通过多种媒体传感交互设备给人以身临其界的感觉。

当前，使用图像绘制的虚拟全景技术能以较低的制作成本获得一定程度的虚拟现实效果，并且在立体物体展示、虚拟场景构造、产品广告、旅游景区、房产销售广告、三维游戏等方向都得到了应用。值得一提的是，百度地图的全景浏览功能就是一个很好的例子，它不仅能够查到某个地理位置，还能够进一步的查看该地点的真实环境，取得了很好的虚拟现实效果。

要想在虚拟场景中获得身临其境的感觉，虚拟现实系统的实时性和画面质量是衡量虚拟场景优劣的两个重要指标。在有限的系统计算能力下，这两个指标往往是一对矛盾体，需要在两者之间进行折衷处理来满足一定的性能要求。

可以肯定的是，虚拟现实的潜在市场非常大，一旦技术上取得相应突破，将会对人类的交互方式产生深远的影响。

### 虚拟现实的应用领域

虚拟现实对医学、娱乐、军事航天、室内设计、房产开发、工业仿真等领域都有十分重要的现实意义。

医学上，通过虚拟环境可以建立虚拟人体模型，借助于跟踪球、头戴式可视设备(HMD)、感觉手套，学生可以很容易的去学习和了解人体内部的各种器官结构，也可以进行模拟尸体解剖和各种手术练习，从而不受标本、场地等条件的限制。它还可以帮助医生寻找最佳手术方案，对于新药物的研制等方面也能够发挥十分重要的作用。

室内设计方面，虚拟现实可以成为设计工具，以视觉形式反映设计者的思想，形象直观，避免复杂设计图纸只有内行人才能看懂，设计者完全可以按照自己的构思创建虚拟房间并直接展现出来，既节约了时间，又节省了模型制作成本，还提高了效率。

房产开发中，传统的展示手段如平面图、表现图、沙盘、样板房等已经远远满足不了消费者的需要。国内已经出现了利用虚拟实景技术进行房产销售的尝试。

军事航天中，模拟训练一直是军事与航天中的重要一环，这为虚拟现实提供了广阔的应用前景。利用虚拟现实技术可以模拟零重力环境，替代非标准的水下训练宇航员的方法。

虚拟现实技术与网络技术结合，可以将文物展示、旅游业带向一个崭新的发展阶段。它可以将文物实体的影像数据或旅游景区的场景数据采集并建立起三维模型数据库，通过网络以一种全面、生动、逼真的形式展示给终端用户，摆脱了地域限制，实现更为广泛的资源共享。

三维游戏也是虚拟现实技术的重要应用方向，并且在该领域也一直非常活跃，因为其实时性、交互性与场景真实性深深的震撼着玩家的心灵，随着软硬件技术的不断发展，不远的将来，真正意义的虚拟现实游戏必将为人类娱乐、教育和经济发展做出新的贡献。

### 场景漫游的两种实现方式

目前的场景漫游技术主要分为：基于几何模型的漫游技术和基于图像绘制的漫游技术。

基于几何模型的漫游技术，首先要建立场景的三维模型，使用曲线、多边形、曲面等几何元素构建精确、完整的场景模型，显示时还要进行如纹理映射、着色以及光影明暗处理等复杂操作。所以使用几何模型的方法对系统的计算能力有要求，如果场景复杂程度较高的话，实时性的要求必然会使系统很有压力，这时特殊的硬件设备就不得不用来解决这个问题了，所以系统的成本也相应的增大。除了这些负面因素，几何模型的方法对比图像绘制的方法有着显著的优势，它可以构造预想中的场景，并且能够随意控制浏览的路线和速度。一些大型3D游戏如：刺客信条、使命召唤，已经在游戏场景运用这种几何模型的方法，自由度非常高。

而基于图像绘制的技术则对成本控制非常有利，它技术实现相对简单，也是近十年来兴起的热闹技术，与几何模型的方法不同，它从一开始就是从现有的场景图像来出发来构建不同视点的新图像，优点是建模容易、真实感强、绘制快，成本显著降低。适于复杂场景的虚拟浏览，它不需要大量的计算来渲染场景的每一部分，但缺点是数据的完整性、精确性不及几何模型的方法。

基于图像的漫游方法在绘制速度和真实感上的明显优势，在计算机领域引起了浓厚兴趣，吸引了一大批的专家学者对它进行研究，并取得了一批有价值的成果。

### 国外研究现状

美国是虚拟现实技术的发源地，目前美国在该领域的基础研究主要集中在感知、用户界面、后台软件和硬件四个方面，美国宇航局的Amen实验室完善了HMD（头戴式可视设备），使其成为可用性较高的产品。NASA研究的重点放在对空间站操纵的实时仿真上。

麻省理工学院建立了一个虚拟环境下的对象运动跟踪动态系统。

苹果公司推出的全景视频产品，第一次使人们领略了具有照片质量的虚拟现实环境，它利用软件把相同视点的若干张边缘稍有重叠的照片缝合在一起，组成一张360°全景图像，通过热点将不同视频的全景图进行连接，通过在全景图上开窗，实时生成用户所要观察的场景，经不同全景图的切换来实现虚拟环境中的漫游。

斯坦福研究所建立了“视觉感知计划”，研究现有虚拟现实技术的进一步发展，还利用遥感技术进行外科手术仿真。

日本的虚拟现实技术的研究居于世界领先地位，在虚拟现实游戏方面研究颇深，目前主要致力于建立大规模虚拟现实知识库。

富士通实验室正在研究虚拟生物与虚拟现实环境的相互作用。

### 国内研究现状

我国虚拟现实技术起步较晚，但也有了相当不错的发展，得到了国家的支持和重视。

北京航空航天大学计算机系是国内最早进行虚拟现实技术研究的，主要研究了虚拟环境中物体物理特性的表示与处理，在虚拟现实中的视觉接口方面开发出了部分硬件，实现了分布式虚拟环境网络设计。

浙江大学 CAD＆CG国家重点实验室开发出了一套桌面型虚拟建筑实时漫游系统以及相应的漫游算法。

哈工大计算机系已经成功地虚拟出人的高级行为中特定人脸图像的合成，在表情的合成和唇动合成上取得成果，现在研究人说话时头势和手势动作。

西安交通大学信息工程研究所对虚拟现实中的关键技术——立体显示技术进行了研究。

北方工业大学VAD研究中心完成了体视动画的自动生成部分算法与合成处理软件。

国防科技大学的虚拟实景空间系统是目前国内最完整的一个系统。它还实现了同心球拼图的室内三维漫游系统。

中国科学院计算机研究所实现了一个基于球面全景图固定视点的室内漫游系统。

西北工业大学CAD＆CAM研究中心，上海交通大学图像处理及模式识别研究所，华东船舶工业学院计算机系，安徽大学电子工程与信息科学系也在虚拟现实技术方面进行了一些相关的研究工作和尝试。

国内全景漫游方面在不断的发展和逐步成熟，但由于一些技术原因和人的观念以及互联网环境的惯性，在推广方面还要作一些努力。

### 论文的结构安排

本文研究了基于鱼眼图像校正并绘制的虚拟现实技术，结构如下：

第1章引入课题研究的背景。虚拟现实技术在各个领域的突出应用、场景漫游的两种不两只的实现方式。同时还介绍了研究课题在国内和国外的不同研究现状等。

第2章分析了鱼眼镜头的原理以及鱼眼图像畸变产生的原因，在些基础之上通过各种区域提取方法的比较（如面积统计法、霍夫圆变换法、传统线扫描法），提出了一种改进后的鱼眼畸变图像圆形区域提取方法——变角度线扫描法，可以更灵活、更准确的提取出畸变图像的圆形有效区域。

第3章阐述了鱼眼畸变图像的校正方法，经过对经纬映射校正法、墨卡托映射校正法以及柱面校正法的分析与比较，在柱面映射校正法的基础上提出了纵向压缩的柱面投影校正算法，该方法参数可调节，有一定的灵活性。并对各种方法的处理结果进行了实验对比。

第4章重点阐述了多幅校正后的鱼眼图像进行拼接的原理和方法。

第5章对拼接图像进行全景漫游的浏览。

第6章为本文的总结。

第7章为展望。

第8章为致谢。

第9章为相关的参考文献。

## 鱼眼图像有效区域的提取



### 鱼眼镜头的成像原理

鱼眼镜头是一种短焦距广角镜头，它的视角接近或等于180°，所能观察的范围远大于人眼的视角范围，因其结构和工作原理与鱼眼相似而得名。鱼眼镜头之所以能够拍摄较大范围的场景，是因为它的镜头采用了类球型结构，这有别于一般的镜头。近年来，鱼眼镜头的应用也渐渐多了起来，它在视频会议、全景图像拼接、虚拟漫游、机器人导航以及大范围公共场所的安防监控等领域都扮演着重要角色，通常一个鱼眼镜头可以代替多个安装角度不同的普通镜头，并且也不需要单镜头全景监控相机的那一套复杂的机械旋转结构，理论上两个鱼眼镜头就可以实现全景成像。但是由于鱼眼镜头的大视角是以牺牲图像直观性为代价的，所以用鱼眼镜头拍摄的图片都存在着很大程度的畸变，会使人眼观察感到一些不适应，最显著的就是“桶形畸变”。虽然这样的畸变给摄影爱好者们带来了惊喜，使他们创造出一些别致的作品，但对于鱼眼镜头在其它方面（如监控）的应用，这样的畸变或多或少也带来了一些麻烦。因此，鱼眼图像的校正技术就应运而生了。

通常我们使用球面透视成像模型来描述鱼眼镜头的成像过程。如图 2.1所示，鱼眼镜头的表面可以看成是一个球面，外界景物的光线投射到球面上，形成一幅外界景物球面映射图，景物光线通过光心O之后，伴随光的折射，以不同于入射光线直射的方向投射于相机的感光部件（CCD图像传感器阵列），从而形成一幅鱼眼图像。

鱼眼成像原理图

图 2.1 鱼眼镜头成像原理

### 图像有效区域轮廓的提取

想要校正一幅鱼眼图像，首先要做的工作便是对圆形有效成像区域的提取（这里主要是针对圆心坐标和半径的参数求取），有效区域提取的准确与否直接关系到图像校正结果的好坏，常用到的方法有：面积统计法、霍夫圆变换法、线扫描法。



#### 各种提取方法的比较

面积统计法把求均匀平面图形的形心（重心）公式应用到图像上，完成对圆形区域参数的提取。

霍夫圆变换法将原始图像经灰度变换后，利用Canny边界检测算子进行图像二值化并将图像中的物体边界显露出来，之后利用霍夫圆变换寻找圆形有效区域的圆心和半径参数。

线扫描法的原理很直观，它的思路是将原始图像灰度化，然后在灰度图上，分别使用水平和垂直两对直线，从上下左右四个方向夹逼圆形有效区域，获得四个切点的坐标，之后利用这两对坐标，计算出圆心坐标和半径大小。在扫描线移动的过程中，只要同一扫描线上的像素最大亮度值与最小亮度值之差大于设定的阈值，便认为该扫描线已经与圆形有效区域相切，最大亮度值的像素点即为切点。

实验中，我们发现以上三种方法对于圆形区域内部和边界暗点较少的图片处理结果较好，但对于圆形有效区域边界较暗的鱼眼图像存在不同程度的提取误差。其中，霍夫圆变换法对圆形区域轮廓不明显的图像给出的结果较差（如图 2.2第一行第3列），线扫描法对圆形区域边界存在噪声点的鱼眼图像存在提取误差（如图 2.2第二行第四列，由于图像顶部阳光太强，导致圆形区域的顶部附近存在亮噪声点，从而使线扫描法不能很好的与圆边界相切，造成误差），面积统计法对圆形区域内部暗点较多且暗点区域分布不对称的图像提取效果很差（如图 2.2第二行第二列）。

由图 2.2的对比结果可以看出，三种方法所能处理的图片类型都有一定的局限性。通过实际观察这三种方法的处理结果并仔细分析后，本文在线扫描法的基础上进行了适当的改进，经过对实验结果的观察比较，发现改进的线扫描法对图 2.2中两类具有代表性的图片以及大部分正常拍摄质量的圆形鱼眼图片均具有较高的提取准确度，并且兼顾了线扫描法的直观性和实时性，从而使线扫描这一方法有了更广的适用范围。下面介绍改进的线扫描法。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 样例1 | org1 | area2 | Hough2 | scan1 |
| 样例2 | org3 | area3 | hough3 | scan3 |
|  | 原始图片 | 面积统计法 | 霍夫圆变换法 | 线扫描法 |

图 2.2　三种提取方法的处理结果比较

#### 改进的线扫描法——变角度线扫描法

考虑到传统的线扫描法仅仅从上下左右四个方向逼近圆形区域，如果圆形区域刚好在这四个顶点附近存在较多噪声点，必然会导致该方法产生误差，针对这一情况，本文使用成对的不同倾斜角的直线，按照与传统线扫描法相同的判断方法（在扫描线移动的过程中，只要同一扫描线上的像素最大亮度值与最小亮度值之差大于设定的阈值，便认为该扫描线已经与圆形有效区域相切，最大亮度值的像素点即为切点），从各个方向对圆形区域夹逼，求取切点坐标，并对这些切点进行筛选，剔除一些无效切点，利用剩余的切点坐标进行圆拟合，进而计算出圆心坐标和半径，以供下一步的校正使用。

以下使用图 2.2中第二幅图片为例，具体说明整个算法流程：

首先，令直线对的倾斜角从0开始，以递增（为便于说明原理，这里，可以增大的值来提高准确性），分别从圆形区域两侧逼近（如**错误!未找到引用源。**(a)所示），从而找到各对切点的坐标值（这里的坐标是在图像坐标系下取得，以像素为单位，图像坐标系以图片左上角为原点，向右为u轴正方向，向下为v轴正方向，如**错误!未找到引用源。**(c)所示）。

变角线扫描原理 观察无效点并剔除 图像坐标系

(a) 扫描线逼近圆域 (b) 连接各对切点 (c) 图像坐标系

图 2.3　变角度线扫描法原理

之后，对这些切点坐标数据进行分析，如**错误!未找到引用源。**所示，从中发现一个规律，使用无效切点对计算出的半径明显大于有效切点对（这也可以从**错误!未找到引用源。**(b)中看出），例如**错误!未找到引用源。**所示的第一对和最后一对切点。所以，剔除无效切点的办法是：对所有切点对计算出的半径取平均值，然后把那些半径大于均值的切点对坐标剔除。

表 2.1 剔除无效切点对的数据分析表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 扫描线倾斜角 | 切点对序号 | 切点坐标 | 对应半径 | 与半径平均值(419.30)比较 |
| **0°** | **1** | **(446, 6 ), (430, 881)** | **437.57** | **>** |
| 30° | 2 | (229, 109), (625, 834) | 413.04 | < |
| 60° | 3 | ( 72 , 270), (780, 692) | 412.11 | < |
| 90° | 4 | ( 21 , 469), (846, 467) | 412.50 | < |
| 120° | 5 | ( 69 , 665), (788, 258) | 413.10 | < |
| **150°** | **6** | **(531, 25), (224, 823)** | **427.50** | **>** |

**错误!未找到引用源。**中序号为２～５的切点对坐标为剔除后的有效数据，使用它们进行圆拟合。关于圆拟合有三种有效的方法，分别是：Taubin method、Pratt method和Kasa method。前两种方法属于强健和精确的圆拟合，即使数据点只是在很小的圆弧范围内，也能得到令人满意的结果。我们这里采用Kasa圆拟合法，因为它的速度很快，计算式简单，但稳定性不如前两种方法。它的计算过程如下：

假设是用于圆拟合的数据，对其进行列填充扩展，构造下面的两个矩阵：



令，按下式计算（其中是*A*的伪逆矩阵）：



则拟合圆的圆心坐标和半径*R*为：



至此，圆形有效区域的提取工作完成，实验结果见图8。下一步进行图像校正。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 3 | 4 | 5 |
| *n*=2，*t=*10 | *n*=5，*t*=20 | *n*=6，*t*=40 | *n*=6，*t*=30 |
| 7 | 6 | 8 | 9 |
| *n*=5，*t*=20 | *n*=8，*t*=16 | *n=*7，*t*=32 | *n=*5，*t*=40 |

图 2.4 变角度线扫描法提取多种类型鱼眼图片圆形区域的处理结果

2

图 2.5 特殊鱼眼图像区域提取

## 眼图像的校正

鱼眼图像的校正过程可以用图5表示：

图像校正流程

图5　图像校正流程

整个校正过程分为以下两个阶段：

1. 利用鱼眼镜头的成像模型将畸变的图像还原到单位视球面上；
2. 将单位视球面通过特定的映射关系，变换成为我们通常所见的二维图像。

通常，鱼眼镜头在设计时是按照以下的几种成像模型[**错误!未定义书签。**]进行的：

体视投影：



等距投影：



等立体角投影：



正交投影：



其中，是镜头光轴与入射光线的夹角，是成像点到图像主点的距离，*f*是镜头光心到图像主点的距离（如图6(b)所示，其中），这里假定图像的主点与畸变图像圆形有效区域的中心重合，忽略相机生产时可能存在的微小误差。考虑到市场上应用等距投影模型设计的鱼眼镜头占大多数，所以我们采用它作为成像模型，将鱼眼畸变图像还原到单位视球面上。

### 畸变图像到视球面的转化

下面我们建立单位视球面上以经纬度为坐标的点与鱼眼畸变图像上以图像坐标为坐标的点之间的对应关系。

图像平面到视球面的转换

(a) (b)

图6　鱼眼图像向视球面的转换

由图６(a)可知，图像坐标系下，圆形区域内一点，满足，转换为平面直角坐标有：



再转换为图6(b)中所示的极坐标有：



考虑到鱼眼镜头的等距映射模型及图片圆域半径*R*，有，于是我们可以确定出参数，其中是鱼眼镜头的半视场角，从而：



这样我们就得到了单位半球面上任一点的球面坐标参数和，于是，球面坐标为：



再转换为经纬度坐标，如图6(b)右半部分的半球面所示，，实际上，由这个经纬度坐标可以确定另一个球面坐标，它与式11得到的球面坐标存在如下关系：



至此经纬度坐标与鱼眼图像坐标建立了对应关系。下一步便是将半球面向通常的图像平面转化。

### 视球面向平面的转化

根据微分几何的知识，球面不是可展曲面，不能展开成平面或平面的子集。所以，通常我们采用投影的方式来成像。实际上我们一般的相机采用的是透视投影模型[[[1]](#endnote-1)]，只是当镜头的视场角较小时，可以忽略它所产生的畸变。标准镜头视场角在30度左右，广角镜头的视场角都大于90度，而鱼眼镜头的视场角更是接近或超过180度。那么，要校正鱼眼图像，就必须把鱼眼图像重新投影回视球面，然后再投影为通常见到的图像。但是由于鱼眼图像的视场范围大于通常拍摄的图像，所以要想在不损失图片信息的情况下进行这种转换，就必须在对待畸变的问题上有一定程度的取舍。本文使用柱面投影模型并对其进行了改进，以适应鱼眼图像校正的需要。

我们可以把鱼眼镜头看做半个视球面，然后将视球面映射到柱面上去，如图7(a)所示：

视球面到平面的转换

(a)　视球面到平面的转化

纵向压缩的柱面投影

(b)　纵向压缩的柱面投影原理

图7

半视球面上每一条经线都对应着柱面纵向的一条色带，经线上每点按照其所在纬度以一定关系进行映射，如果我们按照透视映射进行的话，会发现当纬度或时，需要的柱面高度将会是无穷大（如图7(b)所示，带箭头虚线是透视映射的轨迹），为了解决这个问题，我们采用将透视映射线人为的弯折一定角度之后再投射到柱面上去（图7(b)带箭头实线所示），即视球面上一点到同经度*Z*轴方向最高点的连线与投影线的夹角固定为（实验时我们取），这样就可以把本来投影到无穷远点的部分压缩到柱面映射生成的图像上。根据正弦定理，有如下的关系：



其中.

从而，半视球面上的一点与柱面展开结果图上的对应点的坐标关系如下，为指定常量：



其中.

实际上，计算机内部是处理离散数字信息的，数字图像的处理也是一样，所以校正后的柱面图像上的点和原来的畸变图像上的点不是满射关系。如果采用正向映射校正，柱面上将因为部分像素与原图没有对应关系而空缺（如图10第二列所示），所以在这里我们采用反向映射的校正方式，即遍历柱面图上的每一个像素的位置，根据之前推导的对应关系逆向从原始图片中取出对应的像素，至于对应不上的那一部分像素，则采用双线性插值计算的方法来填补空缺。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| org1 | forwardMap1 | backwardMap1 | long_lati_Map1 |
| org2 | forwardMap2 | backwardMap2 | long_lati_Map2 |
| 原图 | 正向映射校正  （本文的方法） | 反向插值映射校正  （本文的方法） | 经纬映射法  （反向插值校正） |

图10　鱼眼图像的校正结果比较

## 多幅鱼眼图像的全景拼接

## 全景漫游的实现

## 总结

## 展望

## 致谢

## 参考文献

1. Fleck M M. Perspective projection: the wrong imaging model. University of Iowa: Department of Computer Science, technical report: 95-01, 1995 [↑](#endnote-ref-1)