

中山大学硕士学位论文

鱼眼镜头视频图像实时校正算法
研究与实现

The Research and Implementation of Algorithm for
Real-time Fisheye Lens Video Image Calibration

学位申请人: 袁 辉

指导教师: 王建民 副教授

专业名称: 计算机应用技术

答辩委员会主席 (签名):

王宝才

答辩委员会委员 (签名):

陈少强

王春梅

刘永元

林小松

二零零七 年 月 日

论文题目：鱼眼镜头视频图像实时校正算法研究与实现

专 业：计算机应用技术

硕 士 生：袁 辉

指导教师：王建民 副教授

摘 要

目前，鱼眼镜头被广泛地应用到群组视频会议、大范围监控系统、智能交通系统、全景浏览及球面电影等领域。但鱼眼镜头摄像机拍摄的图像具有非常严重的变形，如果要利用这些具有严重变形图像的投影信息，需要将这些变形图像校正为人们习惯的透视投影图像。因此，针对鱼眼镜头捕获的图像进行变形校正是一个很有学术意义且应用广泛的研究课题。

本课题来源于台湾致伸集团与中山大学的合作项目：群组视频会议系统 GVC (Group Video Conference)。本文深入研究了关于摄像机校正以及鱼眼镜头图像变形校正的特点及现状，对目前存在的校正算法进行收集和整理，并对不同的算法进行分析和比较，最后在球面模型下等距投影的校正算法基础上提出一种更完善的扩展算法 (Expansion of Spherical Equidistance Projection Algorithm 以下简称 E-SEP 算法)，并给予实现。E-SEP 算法在以下三点给予扩展：对鱼眼图像进行预处理，精确求出圆形鱼眼图像的主点和半径；并采用了超级反锯齿算法，去减少锯齿效应，改进图像质量；最后对任意鱼眼镜头拍摄方向进行算法理论推导的扩展。

该算法可以做到如下效果：给定鱼眼图像上的任意点的坐标，根据输入的鱼眼镜头最大视角、透视角度、输出图像的高度和宽度等参数，准确得到以该点为中心进行变形校正展开的图像。该算法校正效果更加准确，针对低分辨率输出图像能减少锯齿效应，有更好的视觉效果。最终的实验结果表明，E-SEP 算法具有流程简单，速度快，效果好，实用性强等特点，可以达到处理鱼眼镜头视频图像的实时校正要求。

关键词：鱼眼镜头，摄像机校正，等距投影，反锯齿

Title: The Research and Implementation of Algorithm for Real-time Fisheye Lens
Video Image Calibration

Major: Computer Application and Technology

Name: Hui Yuan

Supervisor: Associate Professor Jianmin Wang

Abstract

Nowadays Fisheye lens are widely used in fields such as group video conferencing, wide range supervisory system, intelligence transportation system, panoramic browsing, and spherical surface movie. However, images taken by fisheye lenses camera tend to have serious distortion. If we want to use information from these distorted images, we should restore the distorted images to normal ones. Therefore, the calibration of fisheye lenses camera is becoming an important academic technique and is widely applied in many fields.

This work is funded by a cooperation project of Sun Yat-Sen University and the Primax Electronic Ltd. and the project name is GVC stated for Group Video Conference. The techniques of the camera calibration and the distortion correction of the fisheye image have been studied in this work. This paper summarizes and benchmarks some previous developed algorithms. At last, an expansion method based on spherical equidistance projection (E-SEP) model is employed. There are three expansion. Firstly, the center and radius of circular fisheye image is figured out in advance. Secondly, it employs super-antialiasing to avoid sawtooth. At last, the algorithm is expended to the situation that fisheye lenses are pointed to arbitrary direction.

Based on the maximum view angle, projection view angle of the fisheye len, the high and width of the output image, as well as a appointed pixel in the fisheye image, this algorithm can get a restored image, which using the appointed pixel as a center. This algorithm is more accurate and could improve the quality of low output image. The experiment results demonstrate its simplicity and effectiveness Final tests show it

could fulfill the requirement of a real-time video processing system.

Key Words: Fisheye lens, Camera calibration, Equidistance projection, Antialiasing

第1章 背景综述

本章着重阐述本文的背景资料,从课题的研究背景,数字变形技术、摄像机校正的概念,针孔摄像机以及鱼眼镜头成像原理等相关内容出发,介绍本课题研究的重要性,并对当前本课题研究领域的主要研究技术做一概念性介绍。

1.1 课题背景及研究意义

随着信号处理、网络传输、计算机硬件能力的不断增长,目前群组视频会议系统由于其功能灵活多样,扩展性强,涵盖远程办公管理、远程移动监控、远程教学培训等领域,加之其较低的成本,正日益受到广大用户的青睐。有预测,软件视频会议系统的市场需求未来会更加旺盛。基于视频会议系统的研究和应用也非常广泛,但绝大多数是侧重于视频传输问题,而对视频图像的捕获和显示的研究却很少^[1]。同时,一般的视频摄像头的镜头多是普通镜头,它拍摄的范围较小,对于群组视频会议,不能有效地让所有与会人员进行同时的视频交流。因此,可以考虑采用鱼眼镜头来扩大拍摄范围。

使用鱼眼镜头摄像机拍摄的图像具有非常严重的变形。如果我们想利用这些具有严重变形图像的投影信息,那么就需要将这些变形图像校正为人们习惯的透视投影图像。对于一般的摄像机校正已经存在大量的研究,但针对鱼眼镜头所拍摄视频图像的校正的研究却不是很多。同时鱼眼镜头图像也越来越广泛地应用到群组视频会议、大范围监控系统、智能交通系统、全景浏览及球面电影等领域。鱼眼镜头校正是其中关键一环。因此,及时地了解国内外最新的方法,掌握核心的技术,研究快速准确的鱼眼镜头视频图像变形校正是一个十分值得探讨的领域。

1.2 图像处理中的空间变换

鱼眼图像变形校正本质上是属于图像处理的空间变换,空间变换也称几何变换或几何运算,包括图像的平移、旋转、镜象变换、转置、缩放等。几何运算可

改变图像中各物体之间的空间关系,这种运算可以被看成是将(各)物体在图像内移动^[2]。空间变换可如下表示。设 (u,v) 为源图像上的点, (x,y) 为目标图像上的点,则几何变换将源图像上 (u,v) 处的颜色值与目标图像上 (x,y) 处的颜色值对应起来

$$(u,v) \longleftrightarrow (x,y)$$

并具有以下关系

$$x = X(u,v), y = Y(u,v), \text{ 由 } (u,v) \text{ 计算对应点 } (x,y) \quad (1-1)$$

$$u = U(x,y), v = V(x,y), \text{ 由 } (x,y) \text{ 反求对应点 } (u,v) \quad (1-2)$$

其中 $X(u,v)$ 、 $Y(u,v)$ 或 $U(x,y)$ 、 $V(x,y)$ 均为变换。由(1-1)对应的变换称作向前映射法也叫像素移交法(pixel carry-over),而由(1-2)对应的变换称作向后映射法也叫像素填充法(pixel filling)^[2]。一个空间变换需要两个独立的算法。首先,需要一个算法来定义几何变换本身,用来描述每个像素如何从其初始位置“移动”到终止位置,即每个像素的运动。同时,还需要一个用于灰度插值的算法,这是因为在一般情况下,输入图像的位置坐标为整数,而输出图像的位置坐标为非整数,反过来也是如此。

数字图像变形技术(warping)^[3]也属于图像处理的空间变换,是近年来图像处理领域中的一个新分支,它主要研究数字图像的几何变换,即图像中点与点之间的空间映射关系。该项技术最早起源于对遥感图像的几何校正问题的研究,后来被引入到医学成像及计算机视觉领域。近年来,随着多媒体技术的普及,数字图像变形技术有了很大发展,并在电影、电视和媒体广告中有很多非常成功的应用。数字图像变形技术以空间映射(spatial transformation)、重采样(resampling)、抗混叠(antialiasing)和插值(interpolation)技术作为理论基础。

1.3 摄像机标定介绍

对于计算机视觉^[4]而言,图像设备的精确校准是最重要的。在涉及定量分析(如:立体视觉、机器人导航、监视和自动化组装、机器人视觉)的场合,都需要对相机的精确校正。在校正中的一个重要方面,是测量相机的内部参数,如主

点(图像中心)、焦距、径向镜头畸变、偏轴镜头畸变以及其它系统误差参数。在给定的相对于相机的三维方位时, 这些参数将决定如何将这此点映射到像平面点。对于场景和相机之间的几何关系的测量, 也是校正过程的一个关键方面。与此相关的参数称为外部参数。其修正方法一般是在原模型关系中引入反映畸变影响的修正参数, 然后基于控制点或其他方法求解修正系数来对图像进行校正。

当建立起一个基于照相机的计算机视觉系统^[4]时, 一个关键任务就是精确地描述在使用的影像传输系统。一个精确透视变换的发展对描述从实际点到照相机接收平面的投影是至关重要的。变换的知识成为相反(逆过程)地把一个图像像素和一个三维的实际位置联系起来的基础。虽然一个图像像素不能为唯一地决定相应的实际的位置, 但是丢失的深度信息能从使用立体透镜技术, 或者立体视觉系统中得到。一个理想照相机系统, 小孔照相机模型提供一个非常简单的获得立体深度测量的关系。但是, 当广角或鱼眼照相机用于立体系统时, 投影几何由于透镜系统的非线性投影的特点而变得复杂。因此, 为了保持小孔照相机立体投影几何, 这些非线性的失真必须得到区分和去除。由于小孔模型没有描述非线性投影特点的参数, 一个新的投影模型将在这份研究中讨论用以描述广角透镜的失真。这是个从本质上描述非线性投影的球形透镜模型。从这个非线性投影模型中, 将很自然地发展为表示在视野范围达180度的图像算法, 进而提供小孔模型中的代表性的投影特性, 并由此获得一个简单的立体系统的几何关系。我们接下来分别介绍针孔镜头和鱼眼镜头成像原理。

1.4 针孔镜头成像过程

照相机的成像过程是一个从3维空间到2维空间的退化的射影变换。针孔摄像机如图1.1所示。在此成像过程中涉及的坐标如下:

- 世界坐标系(x_w, y_w, z_w), 摄像机坐标系(x_c, y_c, z_c)
- 图像坐标系(x, y), 理想图像坐标系(x_u, y_u)
- 真实图像坐标系(x_d, y_d), 像素坐标系(u, v)

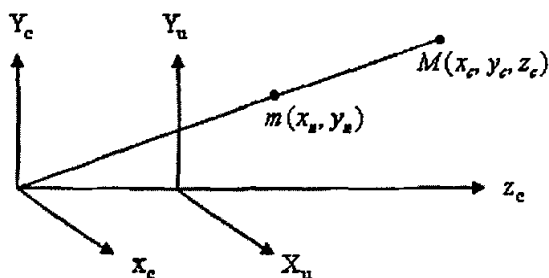


图1-1 射影变换

摄像机光学成像过程^[3]的四个步骤如图1.2所示:

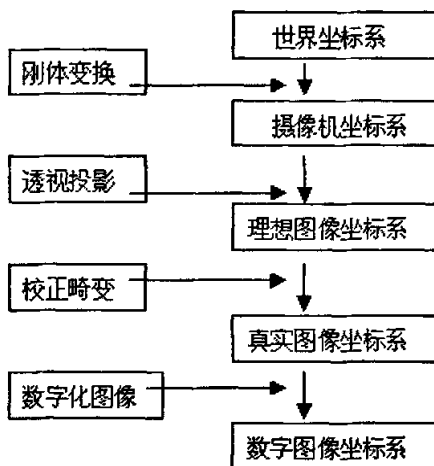


图1-2 摄像机光学成像过程

(1) 刚体变换

设空间一点在世界坐标系中的坐标为 (x_w, y_w, z_w) ,在摄像机坐标系中的坐标为 (x_c, y_c, z_c) 。它们之间的刚体变换为(1-3)

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + t \quad (1-3)$$

其中, R 是摄像机相对于世界坐标系的旋转矩阵, t 是摄像机相对于世界坐标系的位置向量。

(2) 透视投影

三维摄像机坐标系 (x_c, y_c, z_c) 到理想图像坐标系 (x_u, y_u) 之间的转换为透视投影变换(参见1-3)

$$x_u = f * x_c / z_c, \quad y_u = f * y_c / z_c$$

写成齐次坐标

$$z_c \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1-4)$$

(3) 畸变校正

摄像机成像过程中的非线性失真来源于多个方面,它们包括CCD的制造误差、镜头中的镜片的曲面误差、镜头中各镜片间的轴向间距、多个透镜的对中误差,其中镜头镜片组间距误差产生的变形最为严重,其次是各镜片本身的曲线误差的影响。光学镜头径向曲率的变化是引起径向变形的主要原因。这种变形会引起图像点沿径向移动,离中心点越远,其变形量越大。由于装配误差,组成光学系统的多个光学镜头的光轴不可能完全共线,从而引起偏心变形,这种变形是由径向变形分量和切向变形分量共同构成,薄棱镜变形是指由光学镜头制造误差和成像敏感阵列制造误差引起的图像变形,这种变形也是由径向变形分量和切向变形分量共同构成。考虑种种畸变,所得真实图像坐标计算公式如下:

$$\begin{aligned} x_d &= x_u + \delta_{x_u}(x_u, y_u) \\ y_d &= y_u + \delta_{y_u}(x_u, y_u) \end{aligned} \quad (1-5)$$

$\delta_{x_u}(x_u, y_u)$ 为径向变形分量, $\delta_{y_u}(x_u, y_u)$ 为切向变形分量。

(4) 数字化图像

由于前面所用的坐标都是物理坐标,我们最终要显示在计算机上,因此有必要数字化图像。像素在轴上的物理尺寸为 dx, dy 。则

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u & -f_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & f_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1-6)$$

θ 一般默认为 90°

综上,根据小孔透视模型,无畸变的线性成像系统的成像过程可用下式表示:

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} f * f_u & 0 & u_0 \\ 0 & f * f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_K \begin{bmatrix} R \\ t \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1-7)$$

K 中参数为内部参数, $[R, t]$ 对应着外部参数。

1.5 鱼镜头成像原理

绝大多数的相机都不是完美的, 都显示出一定程度的失真变形。对于几何测量, 最关键的问题是相机产生的扭曲。通常的相机使用非定制的镜头, 将产生可观的扭曲。相机的组装往往无法完全对准光轴, CCD感光阵列与光轴也可能不完全正交。对于鱼镜头相机而言, 也存在着同样的问题。

鱼镜头是一种超广角镜头, 事实证明, 对于大视角的应用场合, 鱼镜头是十分有效的。因为它能够提供大约 180° 的视野范围。当从镜头到物体的距离较小时, 鱼镜头仍可以提供对物体的完整视图, 这是其它镜头难以做到的。可以拍摄较大范围视角内的景物, 镜头前端的第一片透镜好像鱼的眼睛一样向外鼓起, 视角可达到 $180^\circ \sim 220^\circ$ 。利用鱼镜头拍摄照片, 可以一次将 180° 或更大范围内, 即一个半球范围内的景物, 拍摄到一张照片上。鉴于视场为 180° 左右的鱼镜头应用比较广泛, 本文以视场为 180° 左右的鱼镜头为出发点, 对圆形鱼眼图像区域进行变形校正, 而且不考虑有关镜头物理特性因素造成的畸变。图1-3为一幅视场为 180° 的鱼眼图像。



图1-3 一幅室内鱼眼图像, 存在严重变形

鱼镜头成像面不是常规的平面,而是接近于球面的曲面,这意味着图像中不同的区域,其分辨率是不同的。越靠近图像中心,分辨率越高,细节信息越多,越偏离图像中心,分辨率越低,得到细节信息越少,变形越严重。

与针孔摄像机不同,由于鱼镜头内部光学镜头的组合非常复杂,通常的鱼镜头,都是由10组以上的光学镜片组成的,而更复杂的则多达几十组,导致光路的计算十分困难。因此我们无法用普通的光路追踪来计算,我们把鱼镜头整体上理解为一个非线性系统 $(\theta, \phi) = F(\varphi, r)$ [6]。

(θ, ϕ) 代表球面上一点, (φ, r) 代表鱼眼图像一点(极坐标),如下图所示

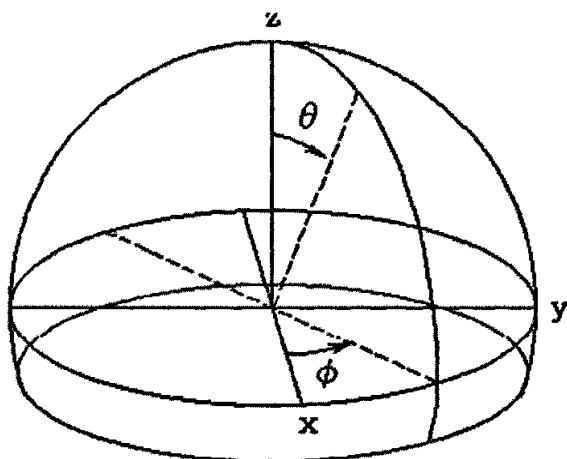


图 1-4 鱼眼图像球面成像模型

为了简化问题,我们考虑通过实验分别拟合出非线性变换。首先引入如下假设:

假设 1: ϕ 仅唯一决定于 φ , θ 仅唯一决定于 r 。即:

$$\begin{cases} \phi = G(\varphi) \\ \theta = H(r) \end{cases} \quad (1-8)$$

该假设是在对鱼镜头图像进行充分的观察和分析的基础上提出的。在此基础上,我们可以考虑多种拟合方式。最简单的,可以采用高阶多项式拟合,如五阶或七阶多项式。

经过某些实验表明,导致鱼镜头图像发生畸变的主要是径向的非线性变化,即主要体现在(1-6)中的第二式中。而在切向上的畸变只占次要地位,因此如果从简化起见,可以再次提出如下假设:

假设 2: 鱼镜头的图像畸变仅包含径向畸变, 而在切向上无畸变。即:

$$\begin{cases} \phi = \varphi \\ \theta = H(r) \end{cases} \quad (1-9)$$

而简化的成像示意图如下, M 空间一点, m 对应针孔摄像机成像点, m' 对应鱼镜头成像点。

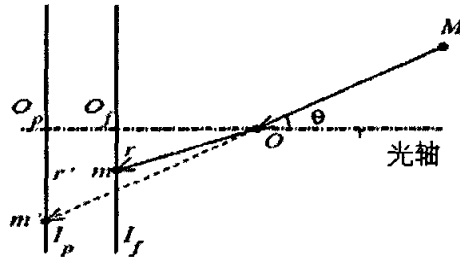


图1-5 鱼镜头成像简化图

1.6 论文的研究内容

本文由五个章节组成。

第 1 章着重阐述本文的背景资料, 从课题的研究背景, 数字变形技术, 摄像机校正的概念, 针孔摄像机以及鱼镜头成像原理等相关内容出发, 介绍本课题研究的重要性, 并对当前本课题研究领域的主要研究技术做一概念性介绍。

第 2 章着重对鱼镜头图像变形校正算法的国内外研究现状做一个综合性的整理和描述, 介绍各类典型算法思想以及效果, 并在综合上做出一个分析和比较。

第 3 章在简单有效的球面模型等距投影算法的基础上, 对鱼眼图像主点及半径进行优化预处理, 针对不同的鱼镜头方向加以算法推导的扩展, 最后对输出图像后续处理, 提出了完整的鱼眼图像校正改进算法。其中也详细论述了算法的理论依据及推导过程, 并对算法结果进行分析和比较。

第 4 章首先给 GVC 系统项目做一个背景需求分析介绍, 然后并讨论鱼眼视频图像校正模块的实现, 最后对应用在本项目中的算法给出总结。

第 5 章对全文进行总结, 阐述了该算法的特点, 并展望了球面模型等距投影改进型算法的研究前景和进一步努力的方向。

第2章 鱼眼镜头图像变形校正算法综述

本章着重对鱼眼镜头图像变形校正算法的国内外研究现状做一个综合性的整理和描述,并对各类典型算法做出一个分析和比较。

2.1 概述

对于鱼眼图像变形校正,虽然很多领域象全景浏览,视频监控等都运用到该技术,但大都涉及到商业软件,相关的理论研究比较分散。在对国内外的资料收集的基础上,可以从两种方式总结鱼眼图像校正算法。

第一种从鱼眼镜头成像的两种投影模型—球面投影模型和抛物面投影模型来分析:

(1)球面投影模型是一种简单有效的方法,把鱼眼镜头成像面看成一个球面。但这种方法需要预先知道鱼眼图像的光学中心和变换球面的半径。因此现有的方法只适用于具有圆形区域的鱼眼图像。经典的该类算法如英向华和胡占义提出的论文^[7]以及论文^[8~11]等。

(2)抛物面成像模型比较复杂,把鱼眼镜头成像面看成一个抛物面。在恢复场景深度时可以得到更加精确的效果。但用该模型计算时过于复杂。一般用于利用鱼眼照片恢复深度信息技术。相关的研究可以参考论文^[12~14]等。

第二种分别从2D和3D空间进行鱼眼图像变形校正展开:

(1)2D鱼眼图像变形校正,该方法不涉及到空间点信息,直接确定变形图像与待校正图像上对应点坐标变换,然后进行像素灰度插值。该类方法包括有球面坐标定位^[8~9],多项式坐标变换及其改进^[15~17],射影不变性^[18]以及通过极半径映射(r VS r')来校正鱼眼畸变^[19~22]。球面坐标定位展开的算法最早由T. Nathan Mundhenk在论文^[8]中提出来的,后来又经过陈明伟、徐丹等加以改进提高精确度。廖士中和高培焕等曾在论文^[16]提出多项式坐标变换算法,周海林和王立琦在2003年论文^[6]中给以改进。极半径映射算法,该算法由Anup Basu和Sergio Licardie于1993年在论文^[19]中提出。

(2) 3D鱼眼图像变形校正, 包括投影转换和鱼眼镜头标定两种方法。投影转换算法是将鱼眼图像转换成透视投影的图像, 具体上是把鱼眼图像上每个2D像平面点 (x, y) 映射到3D场景 (X, Y, Z) 投影构成的2D平面点 (x', y') 。根据图像像素点和对应光线3D向量间关系, 来实现校正。也有文献总结为鱼眼图像半径和入射角间关系的映射, r VS θ , 经典论文参见论文^[23~26]。原理是对任何投影(立体, 球面, 全景, 透视等), 对于图像上每一个像素点, 从照相机的位置上, 都有一个对应的3D向量光线^[27]。

鱼眼镜头标定算法是一类精确恢复的方法, 在建立鱼眼镜头变形模型的基础上, 考虑到鱼眼镜头成像的各种畸变类型, 如常见的径向变形、离心变形、薄棱镜变形等, 建立精确的鱼眼镜头成像模型, 然后通过实验和目标函数来求解出鱼眼镜头内、外部参数, 从而达到精确恢复鱼眼图像变形。此类算法可参见论文^[28~30]等。

2.2 几类代表性算法

2.2.1 2D 球面坐标定位

(1) 算法思想

首先对鱼眼图像求取中心点和标准圆变换, 然后进行球面坐标定位。鱼眼图像中扭曲的场景可以用图2-1中经度来表示, 即每一条经度上的不同像素在扭曲校正过的图像中具有相同的列坐标值^[8~9], 如图中h和k点在无扭曲的场景中具有相同的x坐标。经度越大的经线, 其扭曲程度越大。对于图片垂直方向上任意一点像素坐标 y_i , 从球面的左边界到右边界的角度差都是相等的, 且与之对应的线段 d_x 在x轴方向上均匀分割经度, 使得不同的 y_i 上经度间x方向上的距离相等。因此, 我们可以根据图像间的比例关系由k点求得h点的x坐标

$$\frac{x_k}{d_x} = \frac{x_h}{R} \Rightarrow x_k = \frac{x_h}{R} \times \sqrt{R^2 - y_i^2} \quad (2-1)$$

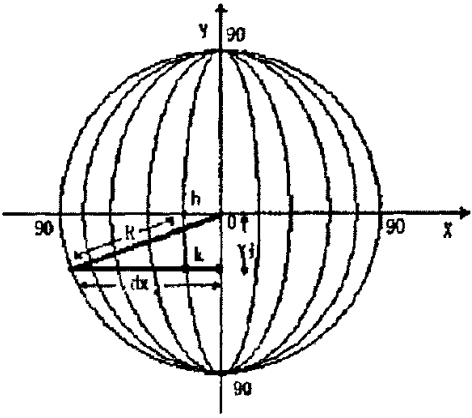


图2-1 球面坐标定位展开

R 为鱼眼图片的半径， x_h 为 h 点 x 轴方向上与图片中心 O 点的距离差， x_k 为 k 点在 x 轴方向上与图片中心 O 点距离差。对于水平视域不是180度的鱼眼图片，在经过标准圆校正后，同样可以用上述方法进行校正。

(2) 算法效果

以下是MatLab实现该算法的效果图示

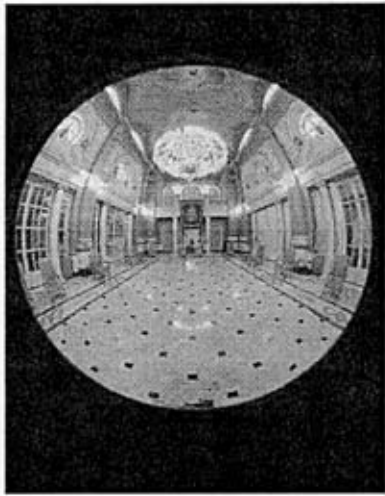


图2-2 原图



图2-3 球面坐标定位校正效果

2.2.2 多项式坐标变换算法

(1) 算法思想

在用光学镜头摄像机采集图像时,由于受景物对象与摄像机三维空间相对位置关系、镜头畸变和摄像机质量等因素的影响,其采集的图像存在着几何畸变,需要对有几何畸变的图像进行校正或对摄像机进行几何标定,以产生精确的不失真的图像。这包括空间坐标变换和象素点灰度插值两部分工作。

多项式坐标变换方法是空间坐标变换的一种简单的变形校正算法,它用来描述理想图与畸变图之间的地址映射。对于鱼眼镜头产生的径向畸变非线性失真,实验证明往往需要使用5阶二元多项式^[15-17]。

(2) 算法推导

假设点 (x, y) 是校正前图像上任一点,则采用多项式变形技术时,点 (x, y) 与校正后图像的对应点 (u, v) 间的关系为:

$$\begin{cases} x = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} u^i v^j \\ y = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} b_{ij} u^i v^j \end{cases} \quad (2-2)$$

n : 多项式次数, L : 控制点对的个数

按最小二乘法,让拟合误差平方最小,以求得空间坐标变换的系数向量 a , b 。

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^L \left[x_i - \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^{n-j} a_{jk} u^j v^k \right]^2 \quad (2-3)$$

求出对应坐标映射后,再利用灰度插值即可完成鱼眼图像校正。

(3) 算法效果

以下是用5阶多项式卷绕来校正畸变鱼眼图像。

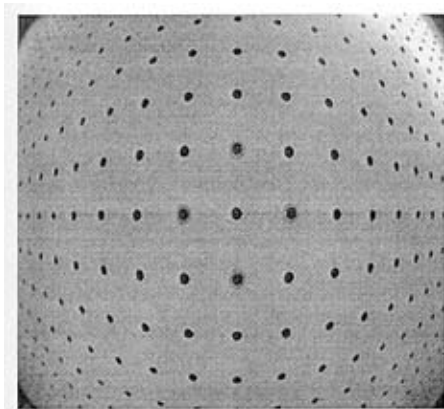


图2-4 鱼眼图像

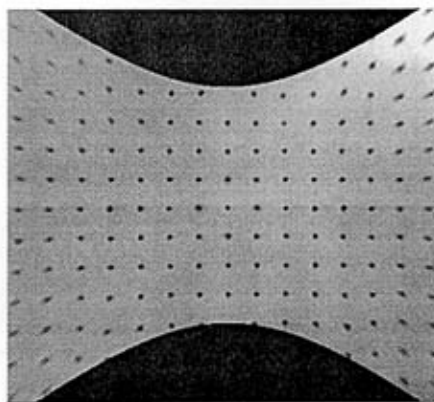


图2-5 5阶多项式坐标变换

2.2.3 球面透视投影约束算法

(1) 算法思想

对于视场大概 180° 的鱼眼镜头, 把鱼眼图像映射到一个单位球面上, 在球面透视投影下, 利用空间直线投影为球面上大圆这一条件, 来恢复鱼眼变形校正参数。算法分析如下:

(1) 鱼眼变形校正模型^[31,32]

鱼眼摄像机成像过程如下图

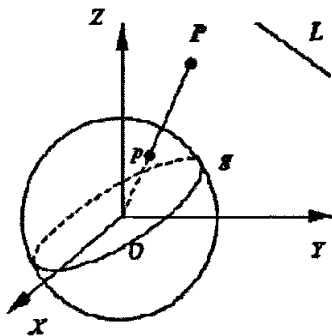


图2-6 鱼眼摄像机成像过程

- 每一个空间点 P 被映射为连结 P 与投影中心 O 的射线 OP
- 将射线线性地映射到单位球面上, 得到球面透视投影图像
- 将球面点非线性地映射到像平面上, 得到鱼眼图像

球面点P经过非线性映射为鱼眼图像点m, 用公式形式化为:

$$m=D(p) \quad (2-4)$$

D 为鱼眼变形模型, 可逆的

$$p=D^{-1}(m) \quad (2-5)$$

D^{-1} 为鱼眼变形校正模型

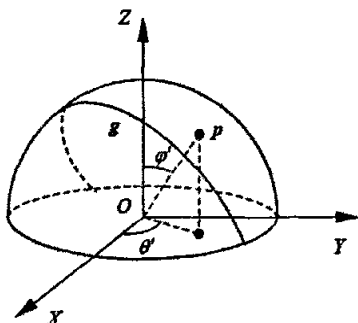


图 2-7 鱼眼变形校正模型

D^{-1} 鱼眼变形校正模型可分为径向校正和切向校正

$$\varphi' = D_R^{-1}(r) \quad (2-6)$$

$$\theta' = D_T^{-1}(\theta) \quad (2-7)$$

该算法用五次多项式逼近进行径向校正和切向校正

$$\varphi' = c_1 r + c_2 r^2 + c_3 r^3 + c_4 r^4 + c_5 r^5 \quad (2-8)$$

$$\theta' = a_1 \theta + a_2 \theta^2 + a_3 \theta^3 + a_4 \theta^4 + a_5 \theta^5 \quad (2-9)$$

(2) 求变形校正参数

由于图像平面极坐标的周期性, 当 $\theta=0$ 时, 有 $\theta'=0$, 因此, 当 $\theta=2\pi$ 时, 必有 $\theta'=2\pi$, 所以:

$$a_5 = (1 - a_1 - 2\pi a_2 - 4\pi^2 a_3 - 8\pi^3 a_4) / 16\pi^4 \quad (2-10)$$

因此, a_5 不是一个独立的参数。为了校正鱼眼镜头, 我们需要恢复9个变形参数。为了得到变形校正参数的无偏估计, 选取的投影曲线应该均匀地分布在鱼眼图像上。通过变形校正参数将这些采样点映射为球面点, 建立的目标函数为这些球面点到相应拟合大圆的球面距离的平方和, 通过最小化目标函数来恢复变形校正参数。因此, 为了校正鱼眼镜头, 我们需要恢复共9个变形校正参数 $(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, a_1, a_2, a_3, a_4)$ 。

本文使用的约束是,在球面透视投影情况下,场景中的直线应该投影为球面图像上的大圆。为了得到变形校正参数的无偏估计,选取的投影曲线应该均匀地分布在鱼眼图像上。通过变形校正参数将这些采样点映射为球面点,建立的目标函数为这些球面点到相应拟合大圆的球面距离的平方和,通过最小化目标函数来恢复变形校正参数。因此,在给出目标函数的公式之前,我们有必要先定义球面点到大圆的球面距离。

大圆的球面坐标可写为 (Φ, Θ) , 球面点 (ϕ', θ') 到大圆 (Φ, Θ) 的球面距离为:

$$d_s = d_s((\Phi, \Theta), (\phi', \theta')) = \arcsin d \quad (2-11)$$

$$\text{其中 } d = |\sin \Phi \sin \phi' \cos(\Theta - \theta') + \cos \Phi \cos \phi'|$$

在我们的方法中,变形校正参数集合 $s = \{c_1, c_2, c_3, c_4, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$,作用在空间直线的鱼眼投影曲线的采样点 $m(r, \theta)$,得到球面点 $p(\phi', \theta')$,然后利用球面点 p 来拟合大圆。如果将所有属于一条直线的鱼眼投影曲线上的采样点都映射为球面点,使用这些球面点拟合的大圆为 (Φ, Θ) ,则对于其中一个采样点 (r, θ) 引起的误差为:

$$\varepsilon = d_s^2((\Phi, \Theta), (\phi', \theta')) \approx d^2((\Phi, \Theta), (\phi', \theta')) = (\sin \Phi \cos(\Phi - \theta') + \cos \Phi \cos \phi')^2 \quad (2-12)$$

当 d_s 很小时,有 $d_s = \arcsin d \approx d$ 。其中 Φ_j 与 Θ_j 是对应于鱼眼图像曲线 j 的最优拟合大圆的坐标, $(\phi'_{i,j}, \theta'_{i,j})$ 是在曲线 j 上的第 i ($i=1, \dots, N_j$)个采样点对应的球面点的球面坐标。

采用 Levenberg-Marquardt 方法对参数进行非线性优化,在使用 Levenberg-Marquardt方法时,初始值的选取非常重要。对于切向变形校正模型, $\theta' = \theta$ 是一个比较合理的初始值选取方法,即: $a_1=1.0, a_2=a_3=a_4=0.0$ 。对于径向变形校正模型,采用一次式 $\phi' = c_1 r$ 对于径向变形校正模型的近似也是合理的。

因此,初始值可以选为 $c_1 = \psi / W, c_2 = c_3 = c_4 = c_5$ 。其中, ψ 是鱼眼镜头的视场, W 是鱼眼图像的宽度。

大圆坐标 Φ_j 与 Θ_j 的初始值可以采用如下线性方法求解。使用带有变形校正

参数初始值的变形校正模型将直线的鱼眼投影曲线上的采样点映射到球面上,利用这些球面点拟合的大圆坐标作为(2-12)的大圆坐标的初始值。我们以其中的一个大圆坐标初始值的求取为例,说明此线性求解方法。假设大圆 j 所在平面的法向量为 \mathbf{n}_j ,则对于大圆 j 上的任意一点 \mathbf{p}_{ij} 有:

$$\mathbf{p}_{ij}^T \mathbf{n}_j = 0 \quad (2-13)$$

对于多于两个球面点的情况,有:

$$\mathbf{A} \mathbf{n}_j = 0 \quad (2-14)$$

其中 $\mathbf{A} = (\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_n)^T$

我们对矩阵 \mathbf{A} 进行SVD分解,对应于最小奇异值的特征向量作为 \mathbf{n}_j 的解,然后就可以得到 $\hat{\Phi}$ 与 $\hat{\Theta}$ 。

(2) 算法效果



图2-8 原图



图2-9 校正后图像

2.3 比较与分析

在对2.2节中整理的一些算法进行一些分析比较,我们发现有以下结论:

(1) 鱼眼镜头成像抛物面模型比较精确,但计算量过于复杂,一般用于利用鱼眼照片恢复大场景深度信息^[33]。鱼眼镜头成像球面模型比较实用有效,模型理论易于理解和计算,比较适合用于鱼眼图像变形校正。

(2) 2D鱼眼图像变形校正算法,理论上相对比较简单,各种具体典型算法也存在一定的不足。球面坐标定位展开算法是一种粗略的校正方法,最终的处理效果不够理想。多项式坐标变换算法是一种典型的校正算法,针对鱼镜头,往往需要5次多项式,同时需要 N 个控制点,计算量非常巨大,难于用于实时系统。而且控制点的合理选取也是一个很难把握的地方。极半径映射算法的缺点也类似于多项式坐标变换算法,需要手动地去选取控制点。

(3) 3D鱼眼图像变形校正算法,相对计算比较精确。其中,投影转换算法是将鱼眼图像转换成透视投影的图像,具体是在球面模型的基础上根据不同的投影来实现转换。由于恢复的区域往往是原来鱼眼图像上部分区域,因此该类算法常用于全景漫游等技术。鱼镜头标定算法,是一类精确恢复的方法。但要通过烦琐的实验与函数计算,而且该类算法求解的参数与鱼镜头的类型也密切相关。

2.4 本章小结

本章着重对鱼镜头图像变形校正算法的国内外研究现状做一个综合性的整理和描述。基本上是从两种方式去总结,一种是根据建立的模型,常用的球面模型和更加精确的抛物面模型,另一种是2D变形校正和3D变形校正。其中给出了经典的算法介绍及效果展示,如球面坐标定位展开算法,多项式坐标变换算法和球面透视投影约束算法。

最后,本章针对各种具体的分类算法做了一个定性的分析比较,全面地分析了他们各自的优缺点,以及适用情形。

第3章 球面模型等距投影算法及其改进

根据第二章所述,考虑到用于实时系统的应用,我们会采用3D鱼眼图像变形校正算法,具体采用扩展的鱼镜头球面模型,通过坐标转换可将部分或全部被扭曲的环场影像还原成适合人眼观察的影像。

本章在简单有效的球面模型等距投影算法Spherical Equidistance Projection (SEP)^[34-44]的基础上,对鱼眼图像主点及半径进行精确优化预处理,针对不同的鱼镜头方向加以算法推导扩展,最后对输出图像后续处理减少锯齿效应,提出了完整的鱼眼图像校正扩展算法Expansion of Spherical Equidistance Projection (E-SEP)。其中也详细论述了算法的理论依据及推导过程,并对算法结果进行分析和比较。

传统的球面模型等距投影算法实现鱼眼图像校正实施示意图如下:

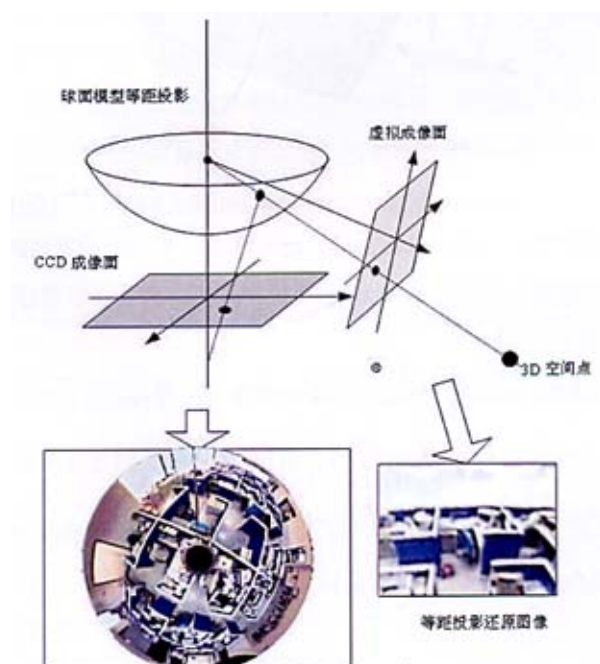


图3-1 球面模型等距投影算法实施示意图

3.1 球面模型等距投影算法

3.1.1 鱼眼镜头球面模型

由于一般的鱼眼镜头为标准的半球面,我们可以把鱼眼镜头成像面看成一个球面,对于鱼眼镜头来说,外部世界可以看成一个半球,我们假设照相机的拍摄方向沿OZ轴,则成像平面为OXY平面,成像原理如图3-2:

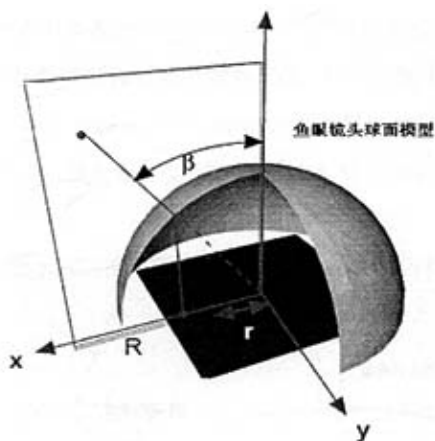


图3-2 球面模型等距投影算法实施示意图

为了将圆形图像的拍摄结果转换成接近人眼或一般相机所看到的透视投影,我们必须将2D图像逆向投影回半径为1的单位半球上,然后再以透视投影的方法投影到图像平面上。

因此,整个问题可以描述为:给定2D鱼眼图像上一点 $p(x, y)$,找出3D空间中对应点P(P与X轴夹角为 ϕ ,Y-Z方位角为 θ),求出以p为中心的透视投影平面,并将该平面的成像内容依据圆形鱼眼图像上内容填满。如下图:

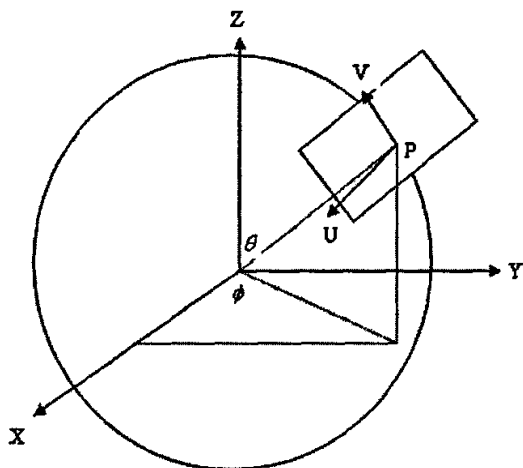


图3-3 鱼镜头球面成像

3.1.2 等距投影推导

根据图3-3, 照相机坐标系Camera Coordinate System CCS中的Z轴为相机的光轴, 图像成像在CCS的X-Y平面上, 为一圆形影像。

在CCS中, 射向原点0的光线会和以原点0为球心, 半径为1为单位长的半圆交会。我们可以视为所有影像都来自于此球, 而后再投影到成像平面。假设空间一点P在CCS里的坐标为 (θ, ϕ) , 其中 θ 为P与Z轴的夹角, ϕ 为P投影在X-Y平面的方位角

$$p = (C_x, C_y, C_z) = (\sin(\theta)\cos(\phi), \sin(\theta)\sin(\phi), \cos(\theta)) \quad (3-1)$$

而由P的Cartesian坐标 (C_x, C_y, C_z) , 可求出其极坐标为

$$\begin{aligned} \theta &= \arccos(C_z) \\ \phi &= \arctan 2(C_y, C_x) \end{aligned} \quad (3-2)$$

3D和2D间的转化考虑等距投影模型, 将P在单位半球面的成像再投影到单位圆上一点p。等距投影模型: 圆形鱼眼图像的成像结果是一个由中心到边线均匀反映90度仰角的影像。参照图3-4

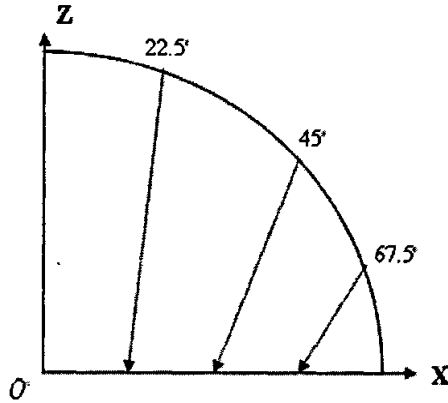


图3-4 等距投影

$$\begin{aligned}
 r &= 1 * (\theta / 90^\circ) \\
 x &= r * \cos(\phi); y = r * \sin(\phi) \\
 \text{其中 } r &= |PO|
 \end{aligned} \tag{3-3}$$

2D-3D推导, 给定鱼眼图像上一点 $P=(x,y)$, 可反推出其对应的半球面上点 P 其极坐标为

$$\begin{aligned}
 p &= (\theta, \phi) = (r * 90^\circ, \arctan 2(y, x)) \\
 r &= \sqrt{x^2 + y^2} / R \\
 &(\text{R为圆半径})
 \end{aligned} \tag{3-4}$$

3.1.3 计算仰角方位角

根据以上的模型推导, 我们知道选定的视点中心和已知的观察方向, 视角, 就可以得到一个View Plane, 其上面所对应的鱼眼图像可以一点一点的反推得到, 只需先反推出每一点的仰角和方位角。

假定观察方向为垂直向下, 如下图。我们以 P 为透视投影中心, 水平视角为 ω , 反推出宽为 W , 高为 H 的透视投影平面上每一点的仰角和方位角。

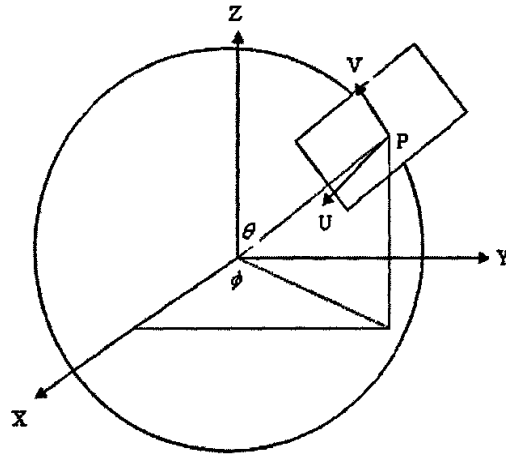


图 3-5 鱼眼球面成像模型

P极坐标 (θ, ϕ) 和Cartesian坐标 (C_x, C_y, C_z) 的关系如下:

$$\begin{aligned} p &= (C_x, C_y, C_z) = (\sin(\theta) \cos(\phi), \sin(\theta) \sin(\phi), \cos(\theta)) \\ \theta &= a \tan 2(\sqrt{C_x^2 + C_y^2}, C_z) \\ \phi &= a \tan 2(C_y, C_x) \end{aligned} \quad (3-5)$$

若V, P, Z共面, 且V垂直于P, 指向Z轴, 则

$$V = [90^\circ - \theta, 180^\circ + \phi] \text{ (极坐标)} = [\cos \theta * (-\cos \phi), \cos \theta * (-\sin \phi), \sin \theta] \text{ (轴坐标)}$$

$$U = P * V = [\sin \phi, -\cos \phi, 0]$$

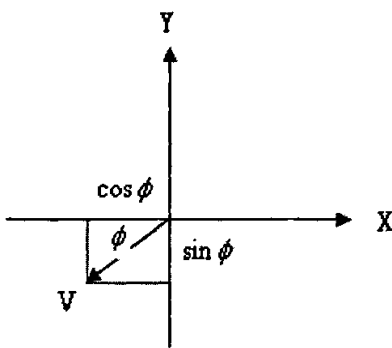


图 3-6 方位角

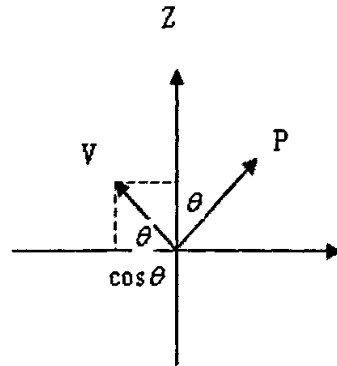


图 3-7 仰角

由于P为View Plane的中心, 且我们指定了View Plane将投影成 $W * H$ 的影像, 水平视角为 ω , 故在View Plane上每个象素对应的长度

$$du = (2 * (r * \tan(\omega / 2)) / W) \quad (3-6)$$

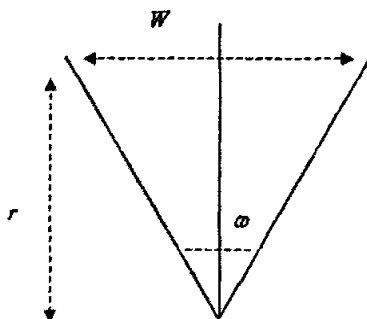


图 3-8 视平面像素长度

r 是圆的半径为1, 假设像素为方型, 则 $dv = du$ 。由上述, 我们可以计算每一点的仰角和方位角, 参考图3-9

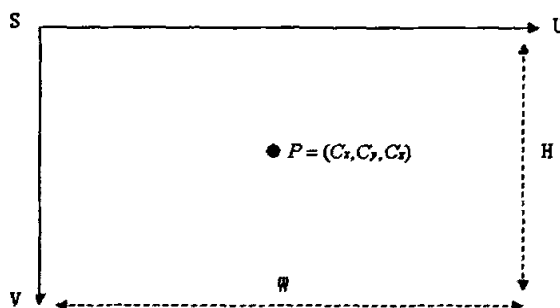


图 3-9 计算视平面对应点的3D坐标

我们假设

$X_increment_u$ = 延U方向每前进 du 时, x 的变化量为 $du * U_x$

$Y_increment_u$ = 延U方向每前进 du 时, y 的变化量为 $du * U_y$

$Z_increment_u$ = 延U方向每前进 du 时, z 的变化量为 $du * U_z$

$X_increment_v$ = 延V方向每前进 dv 时, x 的变化量为 $dv * V_x$

$Y_increment_v$ = 延V方向每前进 dv 时, y 的变化量为 $dv * V_y$

$Z_increment_v$ = 延V方向每前进 dv 时, z 的变化量为 $dv * V_z$

若定义View Plane的原点为左上角的S点坐标为:

$$S_x = W_x - (W/2 * X_increment_u) - (H/2 * X_increment_v)$$

$$S_y = W_y - (W/2 * Y_increment_u) - (H/2 * Y_increment_v)$$

$$S_z = W_z - (W/2 * Z_increment_u) - (H/2 * Z_increment_v)$$

(3-7)

则第 (j, i) 点坐标为

$$\begin{aligned}
 x &= S_x + (j * X_increment_u) + (i * X_increment_v) \\
 y &= S_y + (j * Y_increment_u) + (i * Y_increment_v) \\
 z &= S_z + (j * Z_increment_u) + (i * Z_increment_v)
 \end{aligned}
 \quad (3-8)$$

3.1.4 算法流程

根据以上算法计算推导, 我们可以总结球面模型等距投影算法流程如下:

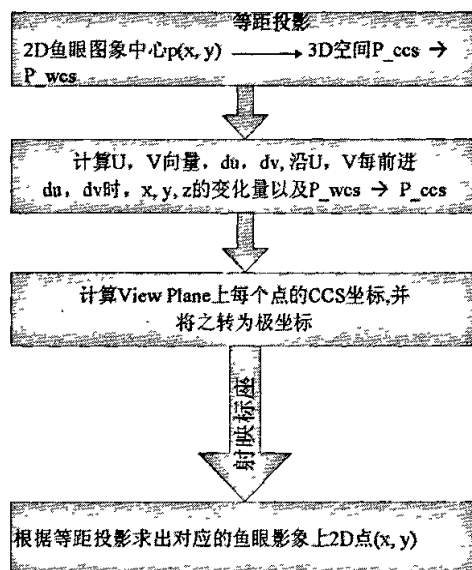


图3-10 算法流程图

其中, 第三步计算视平面每点的极坐标的伪代码如下:

```

for (j=0; j<Height; j++){
    for (i=0; i<Width; i++){
        x=S_x+(j*X_increment_u)+(i*X_increment_v)
        y=S_y+(j*Y_increment_u)+(i*Y_increment_v)
        z=S_z+(j*Z_increment_u)+(i*Z_increment_v)

        length=sqrt(x*x+y*y+z*z)=length[i][j];

        φ=atan2(y, x);

        θ=acos(z/length);
    }
}
  
```

3.2 扩展的球面模型等距投影(E-SEP)算法

我们从以下几个方面对传统的球面模型等距投影算法加以扩展：

- (1) 对圆形鱼眼图像主点及半径进行精确优化预处理
- (2) 针对分辨率最输出图像进行后续处理以减少锯齿效应
- (3) 对任意鱼镜头方向拍摄的算法进行推导的扩展

因此改进的算法流程如图3-11

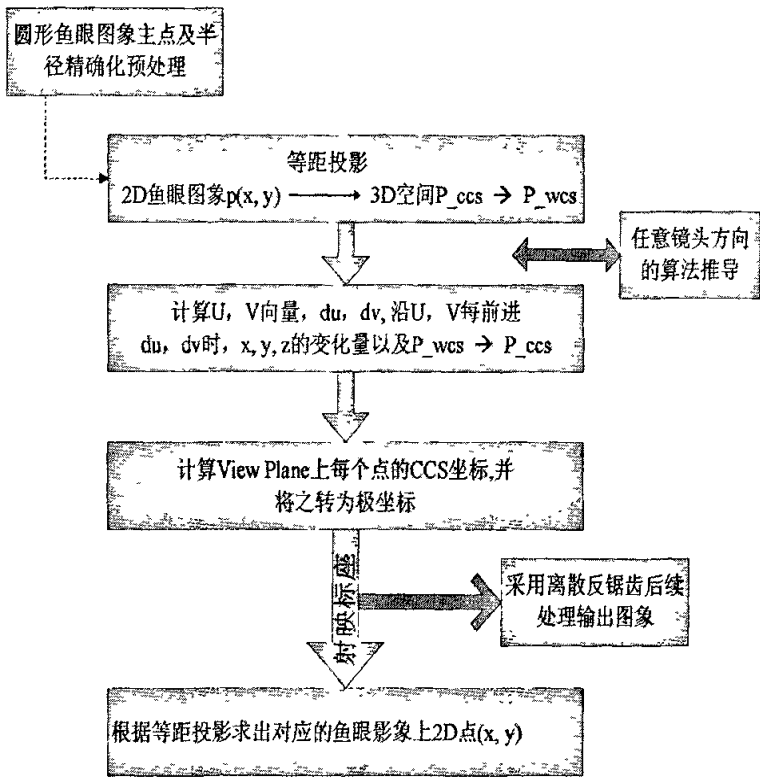


图3-11 扩展的算法流程图

3.2.1 鱼眼图像预处理

求圆形鱼眼图像区域中心及半径一般有两种方法，最小二乘法和面积统计法及改进。为提高速度及精度，我们采取面积统计改进算法^[11]。

事先定义一个阈值T(例如T=10)，将红、绿、蓝三色之和大于T的像素个数Sum求出，同时计算颜色值之和大于T的点的一次距 Σx ， Σy ，其中 (x,y) 为鱼眼图像的

像素坐标, 那么, 很容易推出以下结论:

$$r = \sqrt{\text{Sum} / \pi} \quad (3-9)$$

$$xc = \sum x / \text{Sum} \quad (3-10)$$

$$yc = \sum y / \text{Sum} \quad (3-11)$$

事实上, 在某些情况下圆形区域内部也有可能有多数灰度值较小的像素点, 例如, 拍摄一个有黑色家具的场景时, 场景中灰度值较小的像素点还是比较多的, 如果按上述公式计算, 误差会很大。可以换一种方式思考问题, 显然, 圆形区域外的像素点的颜色皆为黑色, 即灰度值很小, 可以先统计出圆形区域外的颜色值小于T的像素个数, 同时计算颜色值之和小于的像素点的一次矩 $\sum x'$, $\sum y'$, 设鱼眼图像中所有像素点的个数为SUM, 一次矩为 $\sum X, \sum Y$, 则

$$\text{Sum} = \text{SUM}' \quad (3-12)$$

$$\sum x = \sum X - \sum x' \quad (3-13)$$

$$\sum y = \sum Y - \sum y' \quad (3-14)$$

再利用(3-9), (3-10), (3-11)式计算, 可求出半径和圆心坐标。求 Sum' , $\sum x'$, $\sum y'$ 的具体算法如下:

逐行扫描图像, 先从图像的左端开始向右搜索, 逐个判断颜色值之和是否小于T, 如果是, 则累计 Sum' , $\sum x'$, $\sum y'$ 。反之, 则从右端开始向左搜索, 当找到颜色值之和大于T的点时, 扫描下一行。图3-12为上述算法的示意图。

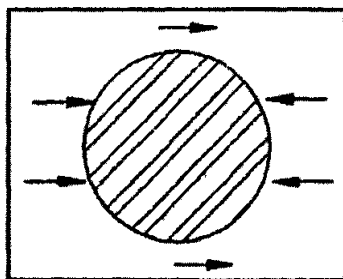


图 3-12 面积统计法示意图

下面是采用改进的面积统计法计算鱼眼图像中心及半径与默认方式做的对比。

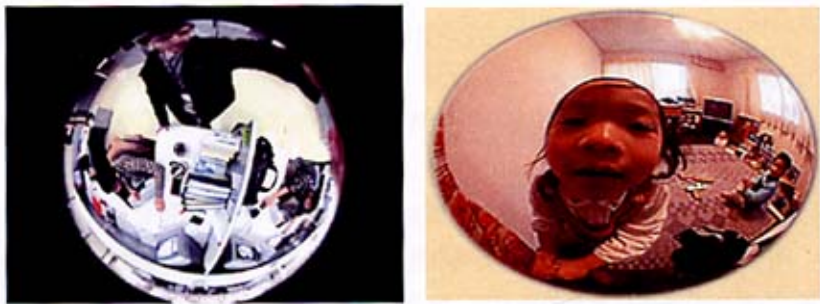


图 3-13 鱼眼图像728*548

图 3-14 鱼眼图像640*480

表 3-1 针对图 3-13的对比

	半径	中心X坐标	中心Y坐标
默认	274	364	274
改进面积统计方法	260	360	284

表 3-2 针对图 3-14的对比

	半径	中心X坐标	中心Y坐标
默认	240	320	240
改进面积统计方法	233	324	241

下面是对图3-14的半径及中心精确后对中心点进行展开的结果对比



图 3-15(a) 未做预处理校正 320*240

图 3-15(b) 对半径中心精确后校正 320*240

3.2.2 任意镜头方向的算法推导

我们可假定 World Coordinate System 为 Z 轴是观察者的正前方,Y 轴朝下, X 轴朝右, 如图 3-16

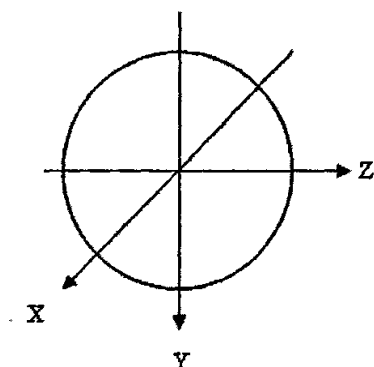


图 3-16 World Coordinate System (WCS)

假如成像角度是向前的, 此时相当于将 View Sphere 从 X-Y 平面的大圆切开, 将 $Z > 0$ 的半球投影到影像上. 此时 Camera Coordinate System (CCS) 与 WCS 完全重合。

假如成像角度是向下的, Camera Coordinate System 的坐标系以 WCS 的 X 轴做顺时针转 90 度, 使得 CCS 的 Z 轴朝下方与 WCS 的 Y 轴重合。此时的成像为 View Sphere 中 $Y > 0$ 的部分。

更一般的情况下, WCS 和 CCS 之间的关系可由两个旋转角度 δ 和 η 来表示。 δ 是将 CCS 对 WCS 的 X 轴做顺时针旋转的角度, 也等同于, 将原本与 WCS 重合的 Z 轴朝下转 δ 角度。如图 3-17

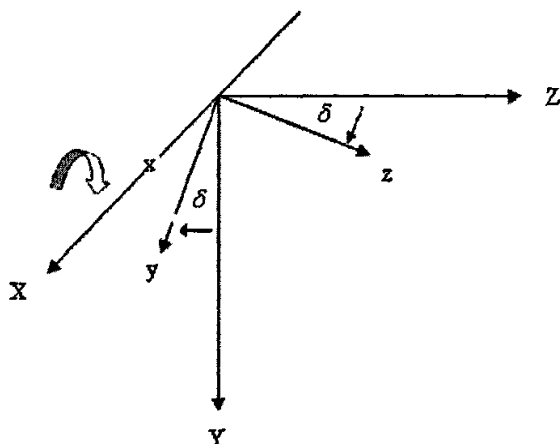


图 3-17 绕 WCS 的 X 轴做顺时针旋转

例如, 镜头向下就是从镜头向前的情况旋转 $\delta = 90$ 度的结果。

η 是将 CCS 坐标对 WCS 的 Z 轴做顺时针旋转的角度。

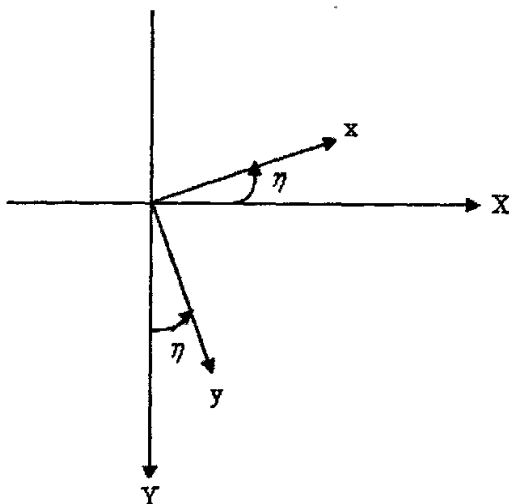


图 3-18 WCS 的 Z 轴做顺时针旋转

经过这两个旋转后, 3D 空间中一点 P 其 WCS 坐标和 CCS 坐标之间坐标的转换如下:

$$\begin{bmatrix} W_x \\ W_y \\ W_z \end{bmatrix} = T_\delta T_\eta \begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} \quad (3-15)$$

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} = T_\delta^{-1} T_\eta^{-1} \begin{bmatrix} W_x \\ W_y \\ W_z \end{bmatrix} \quad (3-16)$$

$$T_\delta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta & \sin \delta \\ 0 & -\sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix}, \quad T_\eta = \begin{bmatrix} \cos \eta & \sin \eta & 0 \\ -\sin \eta & \cos \eta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_\delta^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \delta & -\sin \delta & 0 \\ \sin \delta & \cos \delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad T_\eta^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \eta & -\sin \eta \\ 0 & \sin \eta & \cos \eta \end{bmatrix}$$

3.2.3 对输出图像的后续处理

传统的空间变换包括旋转、缩放、平移等一般包括两个独立的算法, 一个是定义几何变换实现坐标映射, 另一个是灰度插值的算法。因为一般来说, 输入图

像的位置坐标为整数,而输出图像的坐标为非整数,反过来也是如此。但鱼眼图像具备较大的变形,经过验证,传统的插值算法如线性插值、双线性插值对输出的校正图像并不适用,因此需要针对鱼眼图像变形的特点,找出相应的插值方式。

某种意义上,几何变换是一个采样过程,正如所有采样数据一样,数字图像也会受到混叠现象或锯齿效应^[45]。由于我们可以指定输出图像的高和宽,输出图像分辨率比较小的时候,我们会发现,原来表面光滑的物体在边缘轮廓处产生“锯齿”状而影响图像的质量。得到的图像有明显的锯齿效应,比较严重地影响了图像质量。因此,们需要对输出图像采用一些反锯齿处理。研究经典的反锯齿算法后,我们打算采用一种简单实用的离散反锯齿(discrete antialiasing)算法——超级采样算法超级supersampling。

均匀采样就是对所有像素区域都按照相同的投射方位,投射同样多数量的光线,其特点是采样图案均匀分布在屏幕上。光线的密集采样,就是向像素区域投射多束光线,再对所返回的各束光线的颜色值进行加权平均。例如我们可以每个像素分成 2×2 个亚像素,对每一个亚像素都投射一束光线,也就是向每个像素投射4束光线。如图3-19

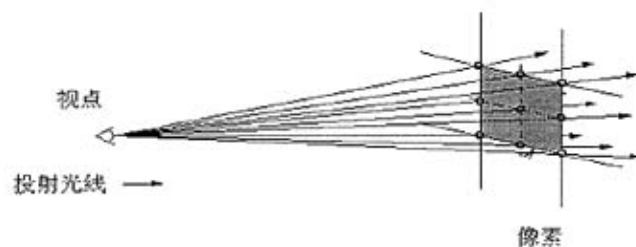


图 3-19 2×2 均匀采样

采用超级采样反锯齿算法处理的效果如下:

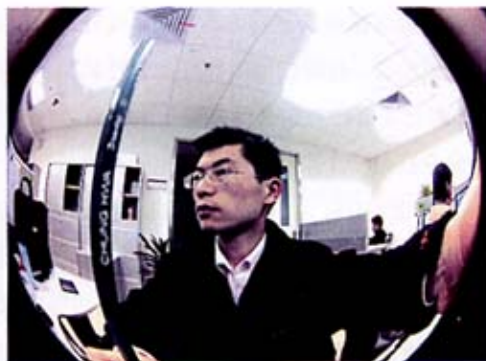


图3-20 (a) 鱼眼图像 640*480



图 3-20(b) 校正后输出图像 400*400



图 3-20(c) 超级反锯齿后续处理 400*400

我们看到图 3-20(b)中, 领子部分有锯齿效应, 经过超级反锯齿处理后, 边缘区域的锯齿效应明显消失了, 见图 3-20(c)。

3.3 算法效果与分析

3.3.1 算法效果

针对鱼眼镜头分别为向前、向下两种典型的情况, 测试该算法的实验效果。我们分别以水平向右和垂直向上为 x, y 轴正方向, 假设原图片中心坐标为 $(0, 0)$

(1) 镜头向前

图3-21是针对一幅鱼眼镜头向前拍摄图像上不同点为中心进行变形校正展开的结果展示。其中(a)为原图, 鱼眼视场为180度, 分辨率608*592, (b)-(e)分别是以 $(0, -100)$, $(0, 0)$, $(-150, 0)$, $(150, 0)$ 为中心进行变形校正展开的结果, 透视

角度都是90度，分辨率均是400*400。



图 3-21 镜头向前拍摄鱼眼图像变形校正展开

(2) 镜头向下

图3-22是针对一幅鱼眼镜头向下拍摄图像上不同点为中心进行变形校正展开的结果展示。其中(a)为原图, 鱼眼视场为180度, 分辨率765*723, (b)-(e)分别是以(100,-100), (100,-100), (-200,0), (-100,-200)为中心进行变形校正展开的结果, 透视角度都是90度, 分辨率均是400*400。(b)透视角度均为60度, 其余是90度, 大小都是320*240。

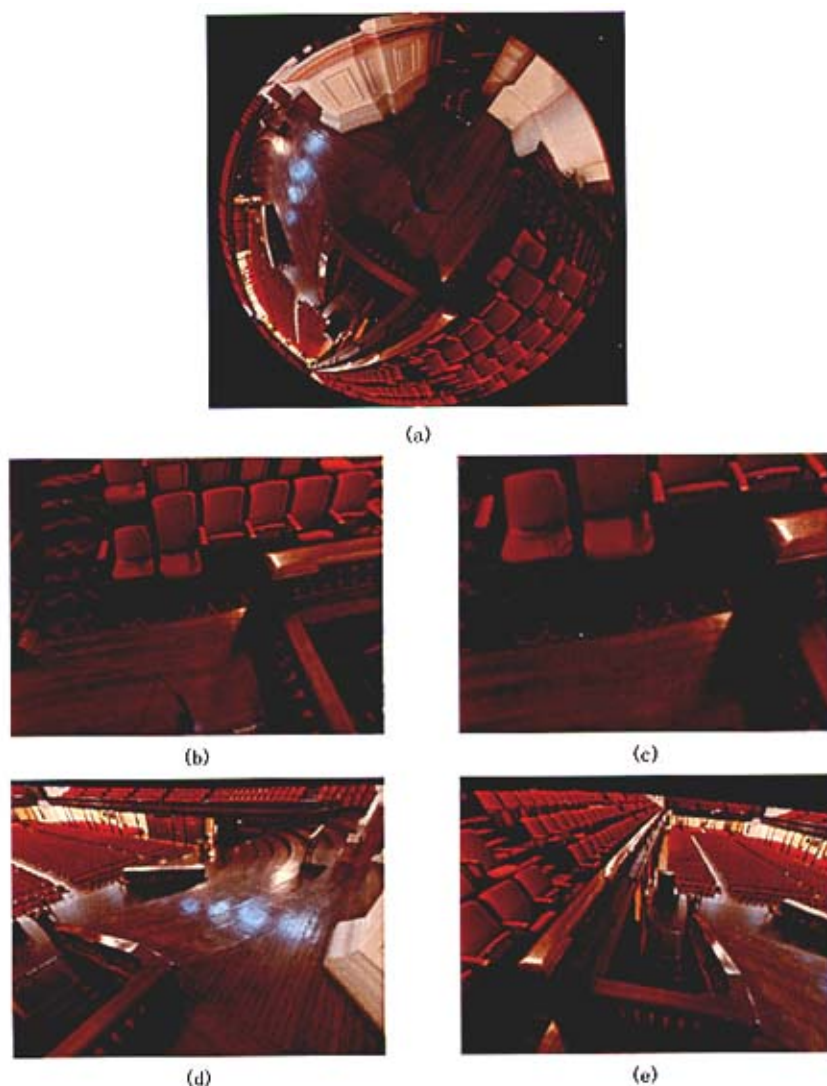


图3-22 镜头向下拍摄鱼眼图像变形校正展开

图3-23是针对一幅鱼镜头向下拍摄图像上不同点为中心进行变形校正展开的结果展示。其中(a)为原图,鱼眼视场为180度,分辨率654*446,(b)-(e)分别是以 $(-50,50)$, $(50,50)$, $(50,-50)$, $(200,-100)$ 为中心进行变形校正展开的结果,透视角度都是90度,分辨率均是400*400。(d)透视角度均为60度,其余是90度,大小都是320*240。

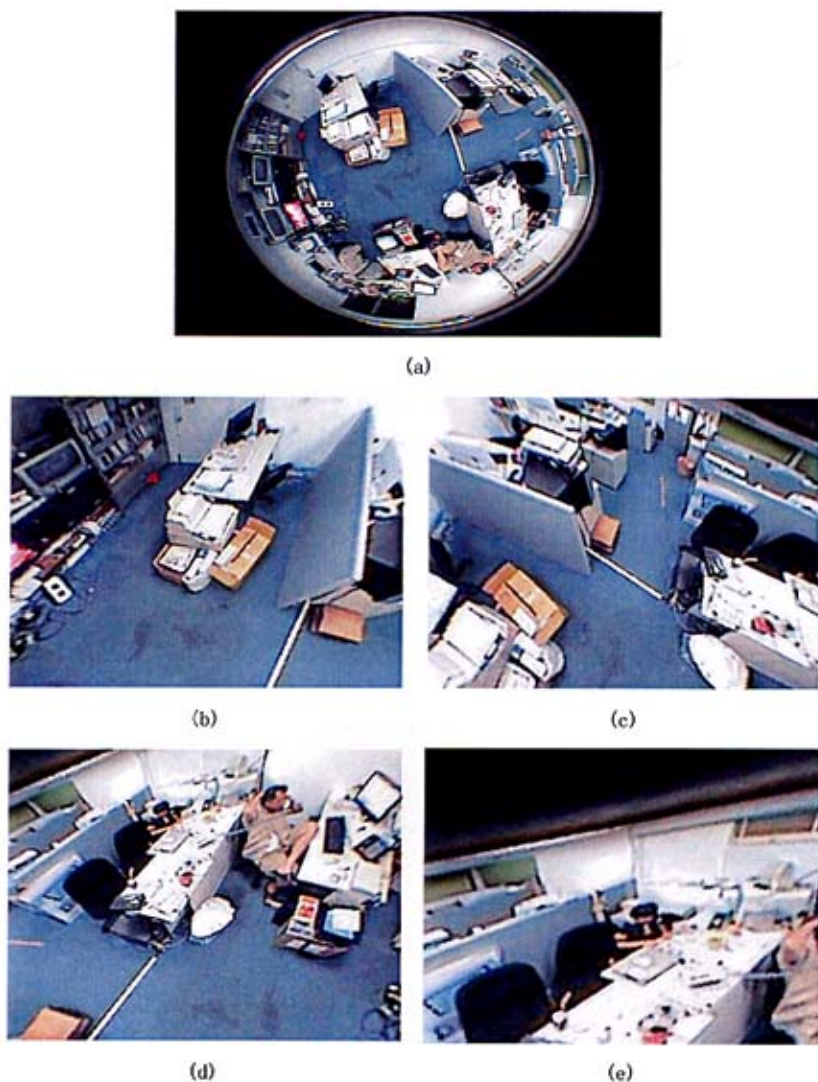


图3-23 镜头向下拍摄鱼眼图像变形校正展开

3.3.2 算法验证

我们针对镜头向下的手工图像,用到下一章中Dewarp模块的调试界面对该算法进行调试验证,实验结果证实该算法的结果是正确的,检验效果如下:

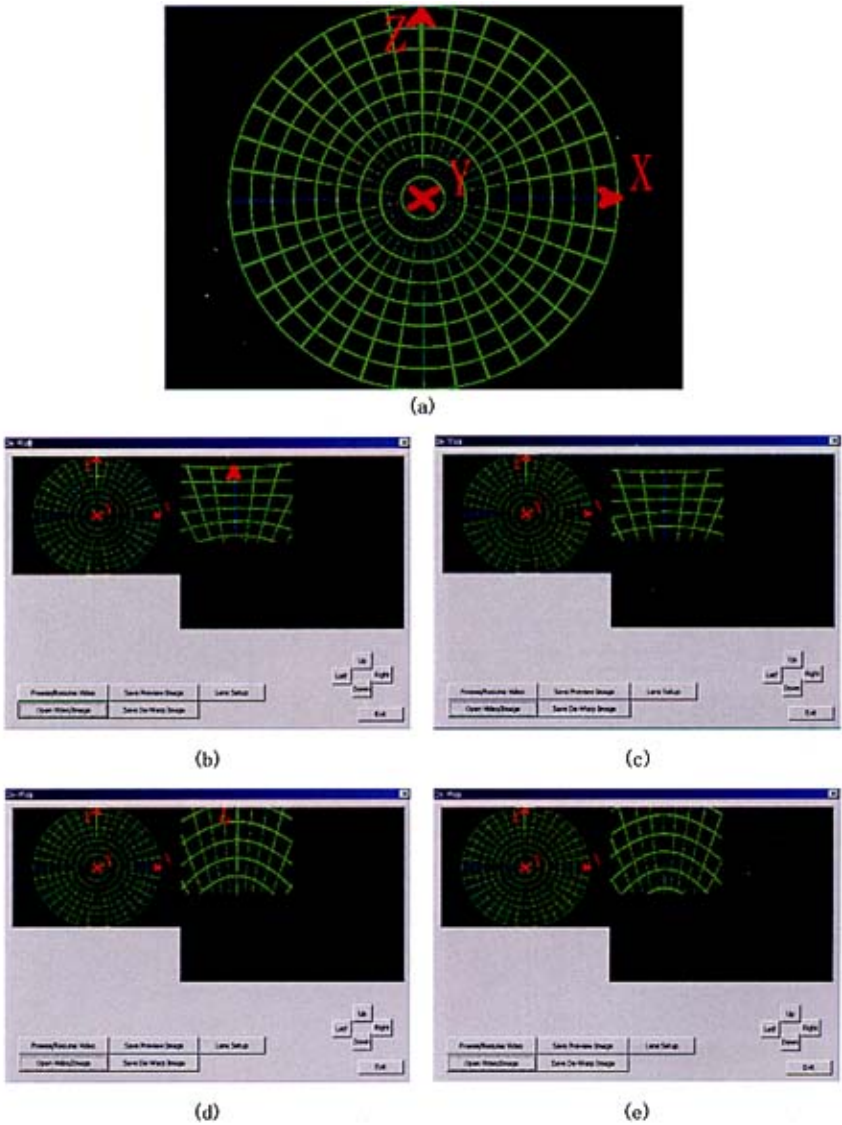


图3-24 调试模块界面验证E-SEP算法

图 3-24(a)是镜头向下的鱼眼手工图像, (b) - (e)分别是 X,Z 轴的中点处进行

变形校正展开, 得到的调试结果, 在调试模块界面中, 用鼠标点击 X, Z 轴的中点, 在右边即可以展示出相应的以该点为中心变形校正的图像。

3.4 本章小结

本章在简单有效的球面模型等距投影算法 Spherical Equidistance Projection (SEP) 的基础上, 通过以下几个方面对该算法进行改进完善, 对鱼眼图像采用了面积统计改进算法精确求出主点及半径, 针对不同的鱼眼镜头方向加以算法推导的扩展, 最后对输出图像采用超级反锯齿后续处理减少锯齿效应, 提出了完整的鱼眼图像校正扩展算法 Expansion of Spherical Equidistance Projection (E-SEP)。最后给出了算法处理效果以及利用调试模块测试人工图像来验证该算法的正确性。

第4章 E-SEP 算法在 GVC 系统中的应用

在我们实际项目GVC系统中，鱼眼视频图像校正是其关键的一环。我们需要把鱼眼镜头获得的大场景中扭曲的人脸图像转换成正常的人脸影像，以方便与会者进行正常的交流和观看。针对GVC系统，经过实验验证，改进后的算法能够处理视频图像，达到实时处理的要求，并能显示出较好的效果。

我们首先给GVC系统项目做一个介绍，然后并讨论鱼眼视频图像校正模块的实现，最后对应用在本项目中的算法给出总结。

4.1 GVC 项目背景

本项目来源于台湾致伸集团下属东聚电子电讯制品有限公司一个项目：GVC（Group Video Conference）。现在很多的视频会议系统都是侧重于视频传输问题，而对视频图像的捕获和显示的研究却很少。GVC针对小型的视频会议系统，采用鱼眼镜头来扩大拍摄范围，让更多的与会者参与交流。同时，我们项目中在显示端只显示经校正后的人脸图像部分，并且限定人脸数目不多于4人。显示终端只有人脸部分，根据鼠标点击或人脸定位模块传输的中心坐标进行校正展开。

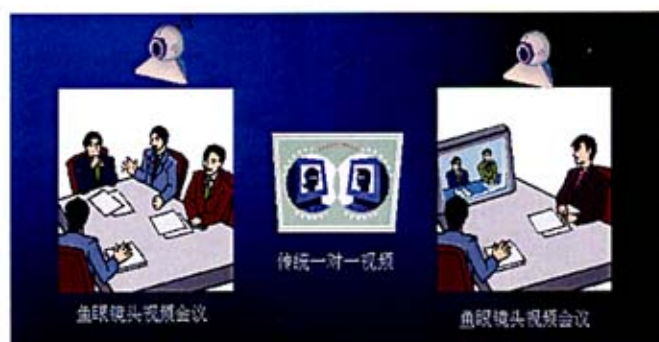


图 4-1 群组视频会议^①

^① "CTC Kick-off Meeting- Group Video Conferencing System," : Primax Co.Ltd, 2006, pp. 3.

项目的愿景是如下面的图中所示：



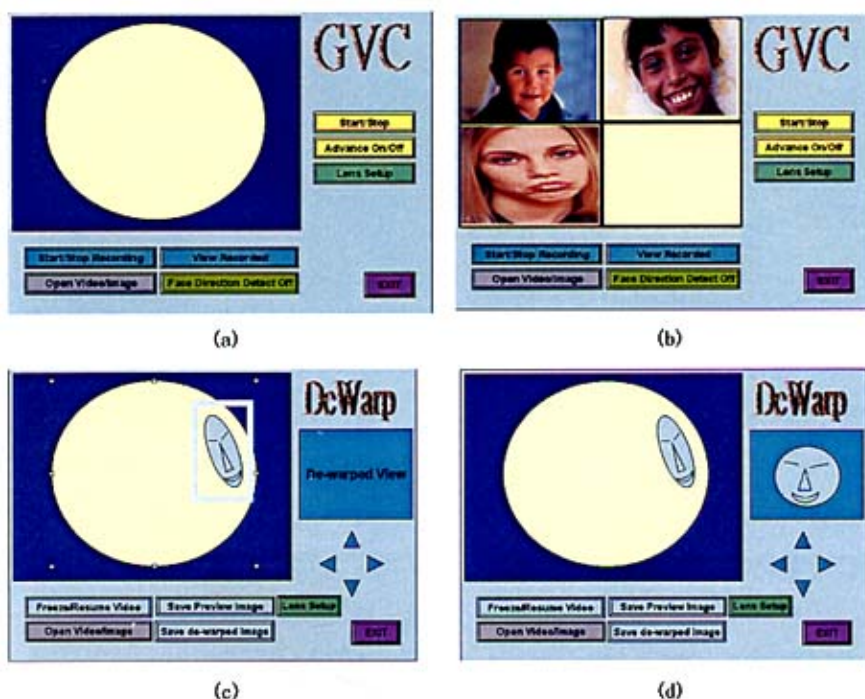
图 4-2(a) 镜头向前的多人情况^①

图4-2(b) 镜头向上多人情况

根据上面所做出的愿景描述，可以将系统划分成3个模块。分别是：人脸定位(Face location)，变形校正(De-Warping)，人脸定向(Face Orientation)。人脸定位负责把鱼眼视频图像上的人脸识别出来，并把人脸部分的中心坐标传给下个模块，变形校正模块根据其中心坐标对其进行变形校正展开，同时把人脸中心依然传给下个模块，人脸定向负责计算并恢复准确的人脸方向。

由于GVC是一个视频系统，故在针对静态图像进行变形校正处理以后，还需要对其进行集成，以适应视频系统的要求。下面是通过GVC的界面图4-3，来对整个视频系统的集成应用进行阐述。其中，4-3(a)是系统初始画面，4-3(b)是系统最终运行结果展示。针对每一个模块，还会有各个模块的调试界面，以检测模块功能是否完成。图4-3(c)为人脸检测定位调试模块界面图，它通过人脸识别及定位计算出人脸的位置，并把人脸部分标注起来。图4-3(d)是变形校正调试模块，该模块根据鼠标点击响应或人脸定位模块传过来的人脸中心的坐标，来把人脸部分正确地显示在右边区域。同时该模块还可以通过上下左右移动人脸中心点来相应地展示校正图像。

^① "CTC Kick-off Meeting- Group Video Conferencing System," : Primax Co.Ltd. 2006, pp. 5-6.

图4-3 GVC系统运行界面^①

4.2 E-SEP 算法在 De-warping 模块中的应用

GVC的系统框架采用DirectShow架构来获取视频，系统的每个模块，如人脸检测定位，变形纠正，以及人脸方向检测，则分别编写成动态链接库，提供给GVC系统进行调用。按照整个系统的界面（UI）要求，设计初始画面如图4-4，系统设置界面如图4-5

^① GVC UI : Primax Co. Ltd., 2007.



图4-4 系统初始画面

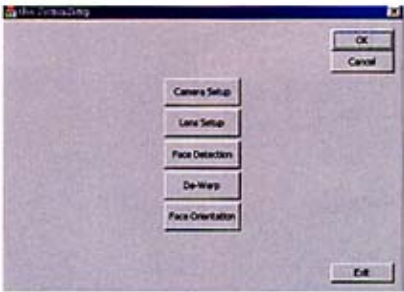


图 4-5 系统设置界面

Dewarping模块对于输入的每一帧图像，根据E-SEP算法预先确定圆形鱼眼区域的圆心和半径。（参见图4-6），然后根据人脸检测模块传入的人脸中心坐标和设定的参数(见图4-7)，或者通过鼠标点击视频图像某点，对鱼眼变形图像进行展开校正，并把校正结果显示出来。

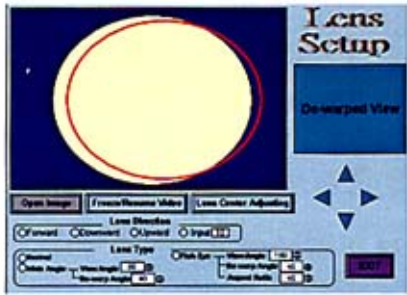


图4-6 确定鱼眼图像中心和半径界面



图 4-7 参数设置界面

从上面的界面我们可以看到，我们可以针对典型的鱼镜头向前，向下进行变形校正。同时，我们可以设置透视角度，可以上下左右移动中心的位置进行变形校正展开。图4-8是点击镜头向下拍摄的鱼眼视频图像后，在右上角展示校正效果。在我们的程序设置中，鱼眼图像可调整不同分辨率大小，在这里我们设置鱼眼图像为640*480，默认鱼眼镜头视角为180度，透视角度设置为60度，并把校正结果显示在右边成320*240大小。

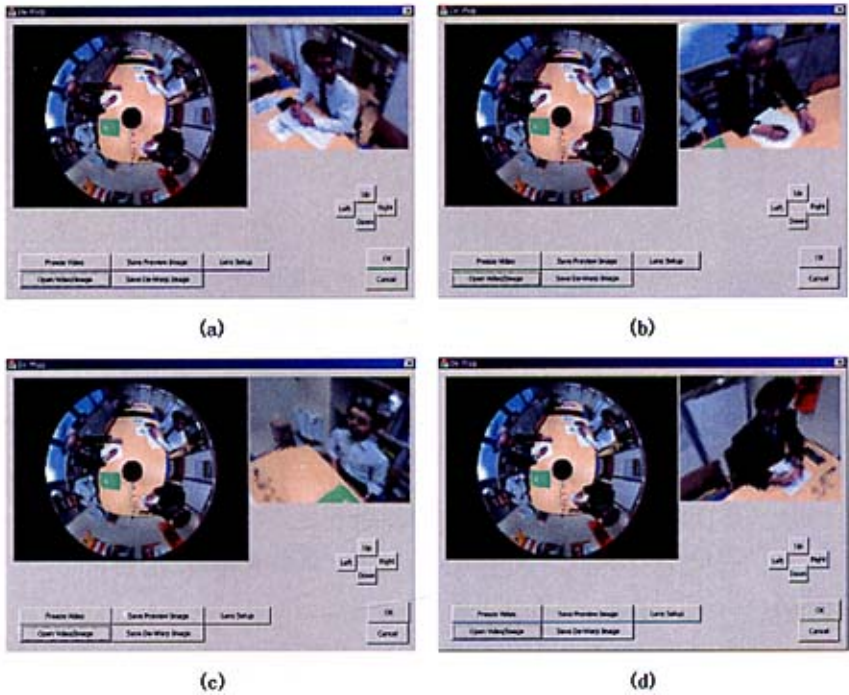


图 4-8 (a)-(d)为点击鱼眼视频图像人脸不同部分进行变形校正界面

我们在处理视频图像时发现，针对鱼眼图像对半径和中心精确化比较占耗时间。而大多情形下鱼眼图像的半径和中心基本上准确的。经测试，大多时候可以忽略半径和中心坐标的误差，人们在视觉上是感受不到这样的误差呢。因此，为了适应对视频图像有更流畅的处理，达到每秒处理10~30帧，那么我们对输出大小为320*240的图片时间要求是单幅图像不大于0.025秒，多幅图像不多于0.1秒。因此，我们在GVC系统中省略了对鱼眼图像对半径和中心精确化处理。

4.3 本章小结

本章首先给GVC系统项目做一个介绍，包括项目的需求背景, 系统架构, 以及各个模块的调试界面, 然后根据系统初始和设置的界面来详细介绍鱼眼视频图像校正模块的实现，针对镜头向下的情形，通过鼠标点击响应或者根据上个模块传来的中心坐标，在右上角展示出变形校正后的图像，最后对应用在本项目中的算法做出分析和总结。

第5章 总结与展望

5.1 总结

鱼眼镜头图像越来越广泛地应用到群组视频会议、大范围监控系统、智能交通系统、全景浏览及球面电影等领域。由于鱼眼镜头图像严重变形的特点,对鱼眼图像的变形校正就逐渐成为一个非常重要且应用广泛的课题。

本文对鱼眼镜头图像变形校正算法作了深入的研究与实验,在总结了现有的几种具有代表性的算法特点的基础上,提出了一种基于球面模型等距投影的改进算法。该算法具有以下几个特点:

- (1) 算法是建立具体数学模型的基础上进行的投影转换,没有采取繁琐的实验去求解参数,具有流程简单,处理速度快,适用性强的优点。
- (2) 本论文采用该算法针对常见的镜头向前和向下拍摄方向进行处理,并能够根据所选的视点中心和透视角度进行变形展开,是用鱼眼镜头图像全景浏览的核心技术。
- (3) 经过实验验证,该算法能够达到实时处理的要求,同时,该算法具有较好的可控性,用户可以选择不同的输入参数的值,来获得不同的校正效果。
- (4) 经过鱼眼图像主点和半径的优化,校正结果更加准确,经过反锯齿处理,针对低分辨率的输出图像有更好的视觉效果。

5.2 未来展望

本课题来源于台湾致伸集团下属东聚电子电讯制品有限公司与中山大学图形的合作项目:群组视频会议系统(Group Video Conference)。该项目目前仍在进行,尚未最终完成。

本文的主要工作完成于项目的预研和集成阶段。算法的核心部分已经完成,在项目的后续阶段,将对该算法进行进一步的扩展,并将应用于实际产品中。未来关于该算法的研究主要集中于以下几个方面:

- (1) 目前的算法对于鱼眼图像边缘部分的处理会出现黑边, 可以考虑加入限制, 当出现黑边时, 就限制视点中心不再变化, 这样会达到更完美的视觉效果。
- (2) 目前的算法对于处理后的输出图像, 采用离散反锯齿算法, 对于输出图像部分平滑区域不需要处理, 因此可以考虑采用一种自适应的反锯齿算法来进一步提高处理速度。
- (3) 因鱼眼图像变形的特点, 传统的插值算法不能适用, 目前的算法经过校正后, 并未对输出图像进行插值补偿, 因此, 根据鱼眼图像的特点找到相应合适的插值算法也是未来的一个研究方向。

参考文献

- [1] R. G. Yang, M. S. Brown, W. B. Sealest, Geometrically Correct Imagery for Teleconferencing, In: ACM Multimedia'99, Orlando, Nov 1st, 1999, 179-186.
- [2] 崔屹. 数字图像处理技术与应用. 北京: 电子工业出版社, 1997.
- [3] 李将云, 图像处理中的插值和缩放若干技术研究, [博士学位论文], 浙江大学, 2002.
- [4] 马颂德, 张正友. 计算机视觉. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] 吴毅红, 视觉基础介绍, <http://www.nlpr.ia.ac.cn/English/rv/download.htm>, (2007-4-28).
- [6] J. Kannala, S. S. Brandt. A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle and fish-eye lenses. IEEE Trans. Pattern Anal Machine Intell PAMI(28), August 2006, No. 8, pp:1335-1340.
- [7] 英向华, 胡占义, 一种基于球面透视投影约束的鱼眼镜头校正方法. 计算机学报, 2003, Vol.26, No 12:1702-1708.
- [8] T. N. Mundhenk, M. J. Rivett, Techniques for Fisheye Lens Calibration using a Minimal Number of Measurements, Procof the SPIE Intelligent Robotics and Computer Vision Conference, Boston, Massachusetts, 2000, vol.11, pp:8-9.
- [9] 陈明伟, 徐丹东. 球面坐标定位校正鱼眼图片合成全景图的方法. 云南大学学报, 2004, Vol.13, No.3, pp: 214-217.
- [10] 黄友度, 苏化明. 一种鱼眼图像到透视投影图像的变换模型. 系统仿真学报, 2005, Vol.17, No.1, pp:29-32.
- [11] 唐俊. 鱼眼图像轮廓提取算法研究. 微机发展, 2004, Vol.14, No 10.
- [12] 王俊杰, 徐小刚, 胡运发, 于玉. 鱼眼投影在虚拟实景中的应用研究. 小型微型计算机系统, 2004, Vol.25, No.2, pp:1-7.
- [13] 贾云得, 吕宏静, 刘万春. 鱼眼变形立体图像恢复稠密深度图的方法. 计算机学报, 2003, Vol.23, No.12, pp:1332-1336.
- [14] 张诚, 汪嘉业. 对鱼眼照片场景实现三维重建和虚拟浏览, 计算机辅助几

- 何设计与图形学报, Jan 2004, Vol.16, No.1, pp: 79-84.
- [15] Y. Nomura, M. Sagara, Hiroshi Naruse. Simple calibration algorithm for high-distortion-lens camera. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, vol.14, no.11, pp: 1095 -1099.
- [16] 廖士中, 高培焕. 一种光学镜头摄像机图像几何畸变的修正方法. 中国图像图形学报, 2000, Vol.5(A), No.7, pp:593-596.
- [17] 周海林, 王立琦. 光学图像几何畸变的快速校正算法. 中国图像图形学报, 2003, Vol. 8(A), No.10, pp:1131-1135.
- [18] 邱志强, 陆宏伟, 于起峰. 用射影不变性纠正鱼镜头畸变. 应用光学, 2003, Vol. 24, No.5, pp:36-38.
- [19] A. Basu, S. Licardie, Modeling fisheye lenses, IEEE, 1993
- [20] S. Shah, J. K. Aggarwal, A Simple Calibration Procedure for Fish-Eye(High Distortion) Lens Camera In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, CA, USA, 1994, 3, pp:3422-3427.
- [21] S.S. Beauchemin, R. Bajcsy, Modelling and Removing Radial and Tangential Distortions in Spherical Lenses, Multi-Image Analysis, LNCS 2032, 2001, pp:1-21.
- [22] G.Glaeser, E.Gröller, Fast generation of curved perspectives for ultra-wide-angle lenses in VR applications. The Visual Computer (1999), 1999, vol.15, pp:365-376.
- [23] H. Bakstein. Calibration of a Fish Eye Lens with Field of View Larger than 180. Proceedings of the CVWW2002, February 2002, pp:276-285.
- [24] J. Kannala, S. Brandt, A Generic Camera Calibration Method for Fish-Eye Lenses, Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04) 2003, vol.1, pp:10-13.
- [25] X.H Ying, ZY Hu, Can We Consider Central Catadioptric Cameras and Fisheye Cameras within a Unified Imaging Model. In Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV'2004), 2004, Vol. 3021, pp:442-455.
- [26] D.B. GENNERY. Generalized Camera Calibration Including Fish-Eye Lenses, International Journal of Computer Vision, 2006, vol.68, no.3, pp:239-266.

- [27] Paul Bourke. <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/projection/>, (2007-5-2)
- [28] R.Y. Tsai A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses. IEEE Journal of Robotics and Automation, Augus 1987, Vol. RA-3, No. 4, pp:323-344.
- [29] 贾云得, 吕宏静, 徐岸. 一种鱼镜头成像立体视觉系统的标定方法. 计算机学报, 2000, Vol.23, No.11, pp:1215-1219
- [30] Y. Xiong, K. Turkowski, Creating Image-Based VR Using a Self-Calibrating Fisheye Lens. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Juan, Puerto Rico, USA, 1997, pp:237-243.
- [31] S. Ramalingam, P. Sturm, S. Lodha. Theory and Experiments towards Complete Generic Calibration. Rapport de Recherche, INRIA, apr.2005, no 5562, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-5562.html>
- [32] P.W. Smith, K.B. Johnson, Efficient Techniques for Wide-Angle Stereo Vision using Surface Projection Models, CVPR, 1999, pp:1113-1118.
- [33] R.C. Gonzalez, R.E. Woods. 数字图像处理 (第二版) 英文版. 北京: 电子工业出版社, 2002, ISBN 7-5053-7798-1
- [34] J.Y Weng, P. Cohen, M. Herniou, Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, vol. 14, no.10, pp:965-980.
- [35] B.C Brauer, K.Voss, A new algorithm to correct fish-eye and strong wide-angle lens distortion from single images, In: Proceedings of the 2001 International Conference on Image Processing[C], 2001, pp:225-228.
- [36] Paul Bourke. <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/projection/>, 2007-4-28
- [37] T.H. Ho, C.C. Davis, S.D. Milner. Using Geometric Constraints for Fisheye Camera Calibration. IEEE PAMI, 1992, vol.14, no.10, pp:965-980.
- [38] J.Y Weng, P. Cohen. Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, vol. 14, no.10, pp:965-980.

- [39] A.Basu, S.Licardie. Alternative models for fish-eye lenses. Pattern Recognition Letters, 1995, vol. 16, pp:433–441.
- [40] R. Swaminathan, S.K. Nayar, Non-metric calibration of wide-angle lenses and polycameras, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, vol. 22, no.10, pp:1172-1178.
- [41] M. Ahmed, A. Farag. Non-metric calibration of camera lens distortion. IEEE Computer Society Conference on, 2001, vol. 2, pp: 477-482.
- [42] J.M. Lavest, M.Viala. Do we really need an accurate calibration pattern to achieve a reliable camera calibration. HANS B,BERND N. Proc of the 5th European Conference on Computer Vision.Berlin:Springer-Verlag, 1998, pp:158-174.
- [43] Y.Z Yu, P. Debevec, J.Malik, Inverse global illumination recovering reflectance models of real scenes from photographs. In: Rockwood A, ed. Proceedings of the SIGGRAPH'99. New York: ACM Press, 1999, pp:215-224.
- [44] R. Swaminathan, S.K. Nayar. Non-metric calibration of wide-angle lenses and polycameras. IEEE Computer Society Conference CVPR 99, 1999,Vol. 2, pp:413-419,
- [45] Paul.Bourke.http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/modelling_rendering/aliasing, Referenced 2007-4-27.

附录一 E-SEP 算法部分核心代码

算法头文件:

```
#include "stdafx.h"
#include <stdio.h>
#include <iostream>
#include "Image.h"
#include "DewarpInterFace.h"
#include "Dewarp.h"
#include "math.h"

const double DTOR = 0.0174532925;
```

算法用到的数据结构:

```
struct pointI2D{ //2D 整型坐标
    int x;
    int y;
};

struct pointF2D{ //2D 浮点型坐标
    float x;
    float y;
};

struct pointF3D{ //3D 浮点型坐标
    float x;
    float y;
    float z;
};

struct boxI2D{ //2D整型box结构
    pointI2D TL;// top-left corner
    pointI2D BR;// bottom-right corner
};
```

```
struct boxF2D{    //2D浮点型box结构

    pointF2D TL;// top-left corner

    pointF2D BR;// bottom-right corner

};

//Camera参数设置

struct Camera{

int lensType;//镜头类型

int lensProjection;//投影方式

int lensAngle;//镜头最大视场

int viewAngle; //透视角度

int lensDirection;//镜头方向

pointF3D lensVector;//镜头向量

float aspectR;//椭圆长短轴比例

};

//算法用到的核心类及相关成员函数

class IMAGE_API Image {

    private:

        unsigned char *data[3];// 指向每个通道的指针

        unsigned int width;// 图像宽度

        unsigned int height;// 图像高度

        unsigned int numOfChannel;// 图像通道个数

    public:

        int readBMPFile(char *filepathname);//读文件

        int saveBMPFile(char *filepathname);//存文件

        unsigned int getWidth();// 返回图像宽度

        unsigned int getHeight();//返回图像高度
```

```

unsigned int getNumOfChannel(); // 返回通道个数

// 取图像某点的像素值

unsigned char getPixelVal(int channel, int x, int y);

unsigned char getPixelValCh1(int x, int y); // 取图像某点像素R值

unsigned char getPixelValCh2(int x, int y); // 取图像某点像素G值

unsigned char getPixelValCh3(int x, int y); // 取图像某点像素B值

//根据RGB值来设置对应某点的像素

int setPixelVal(int x, int y, unsigned char val1, unsigned char val2, unsigned
    char val3);

int setChannel(int width, int height, int channel, unsigned char *data);

int setData(int width, int height, int numOfChannel, unsigned char *data[3]);

//构造函数

Image();

Image(int width, int height, int numOfChannel, unsigned char *data[3]);

~Image(); //析构函数

};

```

由于涉及公司商业机密, 以下A-SEP算法用伪代码给予描述:

A- SEP 算法伪代码如下:

```

Void A-SEP( Image *lpImg, Image *OpImg, int height, int width, Camera *camInfo, POINT
    *mousePos)

// lpImg输入鱼眼图像, OpImg 输出图像, height是其高, width是其宽, camInfo 照像机参
数, mousePos鼠标点击坐标, 展开中心

{

//对鱼眼图像精确求解其半径及中心坐标

Pre_Pro_fishimage(Image *lpImg);

for (j = 0; j < height; j++) {

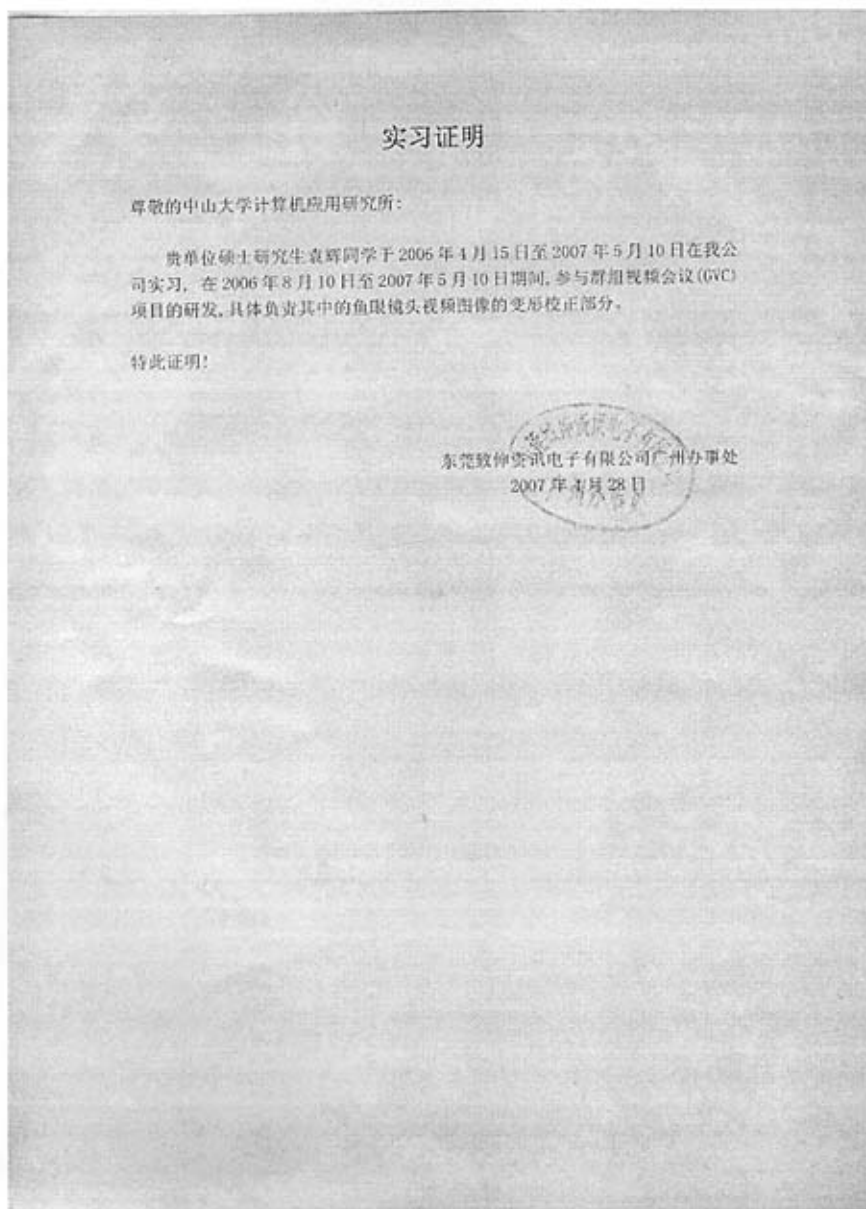
    for (i = 0; i < width; i++) {

//根据SEP算法计算展开中心对应的3D的CCS坐标并转化为WCS坐标

```

```
PointF3D Calculate_3D_SEP (POINT *mousePos);  
//求出 (I, j) 点对应在球面的单位坐标  
x=Sx+(j*X_increment_u)+(i*X_increment_v)  
y=Sy+(j*Y_increment_u)+(i*Y_increment_v)  
z=Sz+(j*Z_increment_u)+(i*Z_increment_v)  
  
//计算输出图像视平面对应每点的仰角和方位角  
theta=acos(z/sqrt(x*x+y*y+z*z));  
phi=atan2(y, x);  
r = theta / (camInfo->lensAngle*DTOR/2);  
  
//并求出对应的原图中的坐标u, v  
u = Calculate(theta, phi, r);  
v = Calculate (theta, phi, r);  
  
//取鱼眼图像(u, v)处的像素值  
r_temp = img->getPixelValCh1 (u, v);  
g_temp = img->getPixelValCh2 (u, v);  
b_temp = img->getPixelValCh3 (u, v);  
  
//设置对应输出图像点的像素值  
out_image->setVal (0, i, j, r_temp);  
out_image->setVal (1, i, j, g_temp);  
out_image->setVal (2, i, j, b_temp);  
    }  
}  
}
```

附录二 实习证明



简历

姓 名： 袁辉 性 别： 男
民 族： 汉 政治面貌： 预备党员
在读院校： 中山大学 院 系： 信息科学与技术学院
专 业： 计算机应用技术 学 历： 硕士研究生
本科院校： 河南师范大学 院 系： 数学科学与技术学院



参与的科研课题：

广东省关键领域重点突破项目，软件领域关键技术及应用--课题 3：互联网
文化娱乐软件开发，珠海金山软件股份有限公司、中山大学联合开发，2003
年 12 月-2005 年 12 月,项目编号：35240-4202030。

实习经历：

2006年7月-2007年5月，在台湾致伸集团广州研发中心实习，从事网络视频会议GVC（Group Video Conference）系统的开发，主要完成在对鱼眼图像的快速
变形校正算法的研究与实现。该项目主要针对网络视频会议系统，通过在鱼眼图
像中把人脸定位出来，并把检测出来的人脸区域的扭曲纠正，并最终把人脸的偏
转方向找出来，把相应的信息通过网络传输出去。

学术论文：

- [1] Jianmin Wang, Zibin Zheng, Qingtang Guo, Hui Yuan, "A Framework for Travel Entertainment in Mobile Location-based Gaming Environment", Accepted for publication in the Journal of Computational Information System, 2: 42006 (1503-1508) [EI]
- [2] 王建民, 郑子彬, 袁辉, 郭庆唐, 基于 Servlet 的手机联网游戏服务器通用架构研究，计算机应用与软件，已录用

专利：

何海涛，王建民，郭庆唐，袁辉，“一种精确鉴定网络应用类型的方法”，
申请中

致谢

在这两年的硕士学习生活即将结束之际,回首这一段难忘、紧张而充实的时光,我的心里充满了感激与感谢。

首先,我要衷心感谢我的导师王建民副教授,在两年硕士研究生的学习与生活中,给予了我无微不至的关心与指导。王老师渊博的学识、严谨的治学作风、一丝不苟的工作态度、忙碌的工作节奏、具有战略性的远见,都让我留下了深刻的印象,也是我一生的学习榜样。同时,王老师还经常给我传授做人做事的哲理,教育我如何更好地处理学习和工作的难题,在我迷茫困惑时给我指导方向,在我低落不够自信时给我鼓励。正是在王老师的指导与关怀下,才使我不断进步,知识逐渐积累,科研能力逐步提高,并最终顺利完成硕士研究课题。

要感谢中山大学计算机应用研究所的罗笑南教授,罗老师不仅在CAD专业对我们传道授业,而且常教育我们如何做人处事,相信所有这些必将成为以后工作的宝贵财富。还要感谢应用所的各位老师和同学,研究所提供了优越的学习科研条件,各位老师的指导和同学的相互学习让我受益非浅,特别是特别是郑子彬,郭庆唐同学,从他们身上我学到很多有用的学习方法。

同时还要感谢中山大学图形和图像技术实验室的朝红阳教授,朝教授精彩的授课让我对图像处理有了入门的理解和浓厚的学习兴趣,同时也对该课题打下了比较坚实的基础。还要特别感谢的是台湾致伸科技股份有限公司给了我一个实习的机会和平台,感谢Frankie给了我非常多的为人处事的精彩建议,并帮助我能更好更快地适应一个新的工作环境,其中还要特别感谢在项目中给了我特别指导帮助的Randy和Tom博士,以及同项目实习的马友喆、杨露同学,SKY、Roger同事。也正是有了他们的帮助,硕士论文课题得以顺利完成。

感谢一起度过美好时光的班级所有成员,有了你们,我的研究生学习生活更加充实,快乐,在中山大学两年的学习生活是我人生最美好的回忆之一。

最后,要感谢的是我的父母,他们多年的养育之恩,对我的期望是我能够顺利完成硕士学位最重要的保证,是我奋斗前进的最大动力。

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本论文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

签名：袁 辉

日期：2007 年 6 月 10 日

鱼眼镜头视频图像实时校正算法研究与实现

作者：[袁辉](#)
学位授予单位：[中山大学](#)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1086270.aspx