

# 车载环视拼接方法的研究

鲁斌<sup>1,2</sup> 秦瑞<sup>1</sup> 李庆<sup>1,2</sup> 陈大鹏<sup>1,2</sup>

(中国科学院微电子研究所 北京 100871)<sup>1</sup> (中科院微电子所昆山分所 昆山 215300)<sup>2</sup>

**摘要** 介绍一种由4个不同鱼眼摄像机视场映射到俯视图的拼接方案。该方案主要依据逆投影方法分别建立起4个场景到俯视图下大图的坐标关系,再依据图像融合得到最终俯瞰视图。创新性是提出在相交区域做第二次的泰勒拟合来增加模型对相交区域的描述的准确性。最后依据室内模型小车实验,在小车各个角度下的拼接效果证明提出的算法对车载环视的相交区域拼接效果有显著的改善。

**关键词** 车载环视,逆投影变换,相交区域,拼接

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Study of Vehicle-surrounding Image Stitch Algorithm

LU Bin<sup>1,2</sup> QIN Rui<sup>1</sup> LI Qing<sup>1,2</sup> CHEN Da-peng<sup>1,2</sup>

(Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100871, China)<sup>1</sup>

(Kunshan Department, Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Kunshan 215300, China)<sup>2</sup>

**Abstract** The paper gave a way to stitch the Images captured by the cameras in four different positions. Mainly, we rebuilt the grant overlook-image through calculating the relationship between the four different visual fields and overlook field. Due to the more perfect image-stitching in overlap region, based on camera calibration theory, we focused on the overlap region, recalculating the external parameters, via inverse mapping, we built the relationships from four different visual fields to overlook field. Finally, we tested the algorithm, and the result gives a proof that the algorithm is effective.

**Keywords** Vehicle-surrounding, Inverse perspective mapping, Overlap region, Image-stitching

随着全国车辆保有量的增加,汽车的安全行驶越来越成为车联网发展时亟待解决的问题。为了满足市场需求,产生了一批将图像处理和模式识别加入到车载系统的产品,如车载环视系统<sup>[1]</sup>、车行线检测、行人检测、行车记录仪等等。其中,车载环视系统能够有效避免车辆擦碰事故的发生,提高车辆驾驶的安全性。

国内外通过对车载环视的研究提出了一些解决方案。其中主要有:日本三洋电子公司的 Ksisuke Asari<sup>[1]</sup> 在 2008 年申请的美国专利,他提出在 4 个摄像头视场相交的区域分别设置一个小棋盘格,采用运动检测的方法得到内外参数并完成拼接;Linbo Luo<sup>[2]</sup> 和台湾工研院的研究人员分别提出了更简便的方案,他们在每个视场的相交区域内找到特征点或者特征线,建立起 4 个独立的视场到最终俯瞰图的仿射关系,然后分别求取 4 个视场下的仿射矩阵完成拼接;Axel Stenkula<sup>[4]</sup> 则通过精确测量 4 个摄像头的安装位置和角度,直接得到外参,然后标定矫正畸变,再通过逆透视变换得到俯瞰图像,最后局部调整每个独立场景下的参数,完成拼接。

现有方案需要解决的主要问题有两点:第一,在车载嵌入式这种资源稀缺的平台上要想平稳地运行上位机开发的自适应性很强的算法,往往达不到实时性很强的效果,而且在高噪声的环境里鲁棒性下降,因此,需要找到一种达到资源和效果

平衡的方案;第二,在车载环视系统中由于需要照顾到整个车身的视场范围,因此使用鱼眼摄像头,而现有的鱼眼摄像头模型在接近 180 度的区域里不能得到完全矫正,这就是相交区域拼接效果不好的原因。

为了解决以上问题,本文没有采用原鱼眼摄像头的模型,而是用泰勒拟合鱼眼摄像头的透镜曲面得到粗略的模型,然后通过相交区域的进一步拟合,相对准确地描述该区域,从而提高相交区域的拼接精度。

## 1 鱼眼摄像头模型

相比普通摄像头模型,鱼眼摄像头成像更复杂,要实现逆透视变换必须先找到能准确模拟鱼眼摄像头特征的模型并矫正畸变<sup>[7]</sup>。

鱼眼摄像头的成像原理如图 1 所示。

根据图 1 的几何关系,摄像机坐标系的 Z 轴和光轴重合, X 轴和 Y 轴与相面的 u, v 坐标轴平行并同向,曲面上反射点 B 的坐标为(x, y, z),像面上一点 A(u, v), B 点到光轴的距离和 A(u, v)到光轴的距离成比例,所以 B 点的坐标为(au, av, z),令曲面的方程为:

$$z = g(x, y) = g(au, av) \quad (1)$$

到稿日期:2012-11-08 返修日期:2013-01-28 本文受汽车移动物联网总体技术研究(2012ZX03005018),智能交通创新服务系统(XDA06040300)资助。

鲁斌(1988-),男,硕士生,主要研究方向为图像处理和模式识别,E-mail:LuBin5488@163.com。

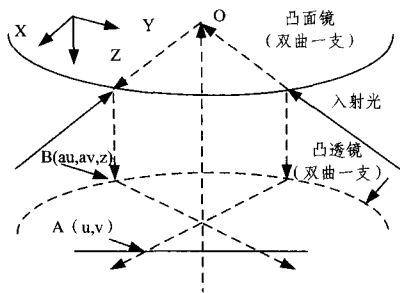


图1 鱼眼摄像头成像原理

本文采用泰勒多项式拟合该曲面方程<sup>[6]</sup>:

$$z=f(\rho)=a_0+a_1\rho+a_2\rho^2+\dots \quad (2)$$

其中  $\rho=u^2+v^2$ 。由于中心对称,并且在  $\rho=0$  处  $f(\rho)$  取到极值:

$$f'(\rho)|_{\rho=0}=0 \quad (3)$$

因此  $a_1=0$ 。

## 2 逆透视变换

逆透视变换,IPM(Inverse Perspective Mapping)<sup>[8,9]</sup>是车载环视拼接中不可缺少的一步,数学表达是:

$$M^{-1}N^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中:

$$N = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 \\ 0 & a_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

是内参矩阵, $M$ 是旋转平移矩阵:

$$M = [r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] = [r_1 \ r_2 \ t] \quad (6)$$

其中,因为投射面是平面,令  $Z=0$  代表平面方程不失一般性,所以旋转分量  $r_3$  可以从  $M$  中省略。

## 3 改进的车载环视拼接算法

要完成4个视场到最终俯瞰图的拼接,关键是找到拼接的依据。常规方法是采用特征匹配;而本文采用4个视场的坐标变换关系搭建鱼眼摄像头下4个视场到俯瞰图的映射关系,然后生成坐标互相对应的查找表,通过查表填充完成拼接。

### 3.1 原视场到俯瞰图的映射原理分析

如图2所示, $B$ 点是俯瞰图坐标系下的点, $A$ 是透视曲面上一点,原点 $O$ 到点 $A$ 的向量与原点 $O$ 到点 $B$ 的向量有比例关系:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} = sM \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$M = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

因此,从图像点到世界坐标系下一点可以建立起对应关

系,而  $M$  和  $f(\rho)$  可以通过标定得到<sup>[6]</sup>。

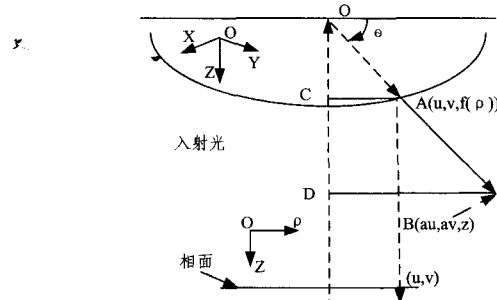


图2  $\theta$ 与 $\rho$ 的关系图

在图2中,三角形 $AOC$ 和三角形 $BOD$ 相似,且因为相面上的 $u, v$ 轴与 $X, Y$ 轴平行,所以有关系:

$$\frac{u}{v} = \frac{X_c}{Y_c} \quad (9)$$

图像上的点 $(u, v)$ 与  $\rho=u^2+v^2$  也有关系: $u=\rho\sin\beta, v=\rho\cos\beta$ ,其中的  $\beta=\arctan \frac{u}{v}=\arctan \frac{X_c}{Y_c}$ ,这样就找到了 $B$ 点和 $A$ 点的坐标对应关系。但是该式不便于解出 $u$ 和 $v$ ,经过观察发现可以通过 $\theta$ 求得 $\rho$ <sup>[11]</sup>, $\theta$ 是向量 $OB$ 与 $XOY$ 平面的夹角,所以:

$$|AC| = \sqrt{u^2+v^2}, |BD| = \sqrt{X_c^2+Y_c^2}$$

根据相似关系可以得到比例式:

$$\frac{|AC|}{|BD|} = \frac{f(\rho)}{Z_c} = \frac{\rho}{\sqrt{X_c^2+Y_c^2}} \quad (10)$$

所以:

$$f(\rho) = \frac{\rho Z_c}{\sqrt{X_c^2+Y_c^2}} = a_0 + a_2\rho^2 + a_3\rho^3 + \dots = \rho \tan\theta \quad (11)$$

系数 $a_i (i \in [1, n])$ 可以通过标定过程确定<sup>[11]</sup>,且  $\theta \in [0, \frac{\pi}{2})$ ,让 $\theta$ 在范围内以0.01为步长,对每个 $\theta$ 得到相应的 $\rho$ ,然后拟合出一个关系式 $h(\theta)$ :

$$\rho = h(\theta) = h\left(\arctan \frac{Z_c}{\sqrt{X_c^2+Y_c^2}}\right) \quad (12)$$

$$u = \rho \sin\beta = h\left(\arctan \frac{Z_c}{\sqrt{X_c^2+Y_c^2}}\right) \sin\left(\arctan \frac{X_c}{Y_c}\right) \quad (13)$$

$$v = \rho \cos\beta = h\left(\arctan \frac{Z_c}{\sqrt{X_c^2+Y_c^2}}\right) \cos\left(\arctan \frac{X_c}{Y_c}\right) \quad (14)$$

至此,找到了俯瞰图一点 $B$ 到原视场下一点 $A$ 的映射关系,依据该公式可以建立起查找表。

### 3.2 实验测试和相交区域拼接的改进

根据式(13)和式(14)可以建立起俯瞰图下每一点 $(X, Y, Z)$ (其中 $Z=1$ )到原视场下相应点 $(u, v)$ 的映射查找表。根据该原理,实验测试得到图3所示的结果。

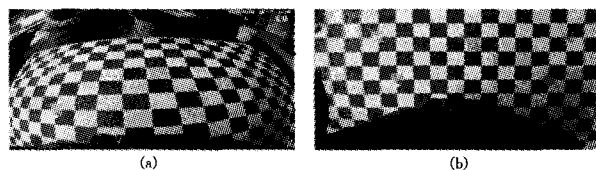


图3 前视场的映射实验结果

观察发现图 3(b)的两边矫正没有中间的效果好,而两边的区域是拼接的关键区域。

通过对上节原理的分析和重复实验后发现,对于鱼眼摄像头,因为周边区域的畸变很大,泰勒拟合后的模型只能保证对于标定覆盖的区域具有很好的描述。要准确地拼接上,就需要在相交区域再次使用泰勒模型计算出准确的外参。

对 4 个视场试验后得到图 4 和图 5,它们给出了分别在 4 个摄像头下做局部调整和未做局部调整的 IPM 映射图的对比。从点阵图中可以看出,在 4 个场景下,局部调整使得投射点的取点位置与原来点的位置更接近,也正是这种调整,使得最后的 IPM 图像在接近 180°的区域不容易发生扭曲、变形。

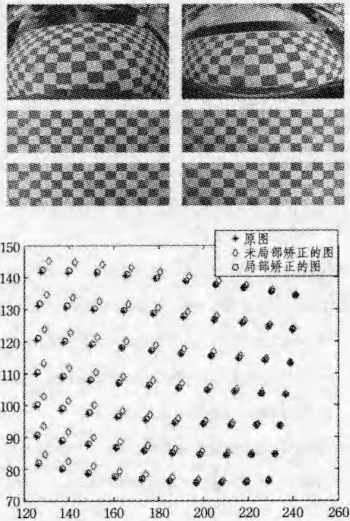


图 4 前、后视场 IPM 后的图像对比,其中第二行和第三行分别是加入局部调整和未加入的结果

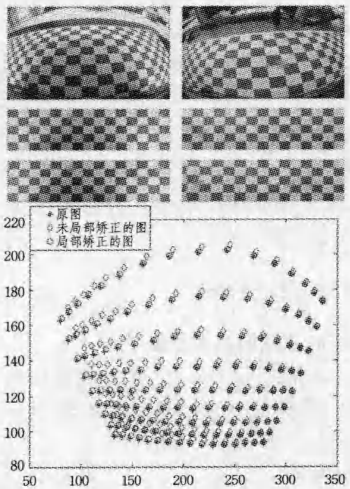


图 5 左、右视场 IPM 后的图像对比,其中第二行和第三行分别是加入局部调整和未加入的结果

在实验中当小车行走走到不同位置时 4 个视场下图像在拼接大图中的效果如图 6 所示,在交界处,几乎没有明显的错位,通过亮度差别可以看出局部调整的区域选定范围。

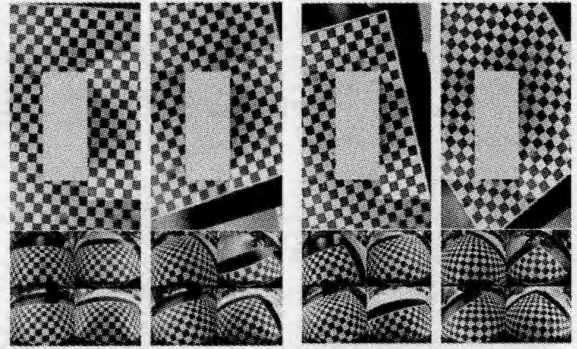


图 6 4 个视场到俯瞰图的拼接效果

**结束语** 车载环视核心在于 4 个场景下的拼接。为了让现有的拼接效果更真实反映原场景,本文使用泰勒拟合鱼眼摄像头模型,并在接近 180 度的相交区域做局部拟合,以完善相交区域的拼接。从实验效果看,该拼接方案比已有的方案效果更好。

### 参 考 文 献

- [1] Kato K, Suzuki M, Fujita Y, et al. Image synthesis display method and apparatus for vehicle camera[P]. United States Patent 7, 139,412
- [2] Luo Lin-bo. Low-cost and real-time implementation of bird's eye view system for camera-on-vehicle[D]. Hanyang Univ. Korea, Jan. 2012
- [3] Liu Yu-chih, Lin Kai-ying, Chen Yong-sheng. Bird's eye View Vision System for Vehicle Surrounding Monitoring[C]// Department of Computer Science, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan. RobVis 2008 LNCS, 2008, 4931: 207-218
- [4] Stenkula A. A Study of All-Around Environment Displaying System for Heavy Vehicles[Z]. Royal Institute of Technology
- [5] Zivkovic Z, Booi O. How did we built our hyperbolic mirror Fish-eye camera-practical issues and basic geometry[D]. Netherlands, May 2005
- [6] Scaramuzza D, Martinelli A, Siegwart R. A Flexible Technique for Accurate Fish-eye Camera Calibration and Structure from Motion[C]// Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, ICVS, 2006
- [7] Brauer-Burchardt C, Voss K. A new algorithm to correct fish-eye and strong wide-angle-lens-distortion from single images[C]// Proc. ICIP. 2001; 225-228
- [8] Mallot H A, Buthoff H H, Little J J, et al. Inverse perspective mapping simplifies optical flow computation and obstacle detection[J]. Biological Cybernetics, 1991, 64: 177-185
- [9] Bertozzi M, Broggi A, Fascioli A. Stereo Inverse Perspective Mapping: Theory and Application[J]. Image and Vision Computing, 1998, 16: 585-590
- [10] Ying X, Hu Z. Catadioptric Camera Calibration Using Geometric Invariants[J]. IEEE Trans. on PAMI, 2004, 26(10): 1260-1271
- [11] Svoboda T, Pajdla T. Epipolar geometry for central catadioptric cameras[J]. IJCV, 2001, 49(1): 23-37