

文章编号: 1002-0268 (2000) 05-0076-05

智能车辆视野及其图像变形矫正的研究

徐友春, 王荣本, 纪寿文
(吉林工业大学, 吉林 长春 130025)

摘要: 对 JUTIV-II 型智能车机器视觉系统的结构和该视觉系统产生的图像畸变的原因进行分析, 提出并证明视野中等腰梯形区域的对角线交点就是经 CCD 摄像机得到的矩形图像对角线交点的结论, 根据该结论推导出机器视觉的图像畸变矫正算法, 实验结果表明本文所研究的图像矫正算法可以有效地矫正导航路标的图像畸变, 为智能车辆导航路径的识别提供了准确的图像信息。

关键词: 机器视觉; 自动导航; 畸变矫正

中图分类号: U46

文献标识码: A

Study on View Field and Image Rectifying for Intelligent Vehicle

XU You-chun, WANG Rong-ben, JI Shou-wen
(Jilin University of Technology, Jilin Changchun 130025, China)

Abstract: JUTIV-II is the second prototype intelligent vehicle built in Jilin University of Technology. The view field of machine vision is shown and discussed. The image from the camera is distorted because the axis of the camera is not perpendicularity to the road surface. In the paper, Based on the conclusion that the image of the cross point of diagonal lines of the trapezoid view on the ground is the center point of the image, An algorithm is proposed to rectify the lane marker image. The field experiment result shows that the image-rectifying algorithm is efficient and provides the correct information for the recognition of white lane marker.

Key words: Machine vision; Automatic guidance; Distortion rectifying

0 引言

自 50 年代以来, 智能车辆 (Intelligent Vehicle, IV) 的研究开发得到各国的广泛重视。导航技术是智能车辆的关键技术之一。机器视觉 (Machine Vision) 导航是近年来发展起来的具有广泛应用前景的导航方法。在智能车辆导航技术研究领域, 采用机器视觉导航是当前的主流方向^[1], 这反映出机器视觉在智能车辆导航中潜在的广泛应用前景。本文所研究的对象即是采用机器视觉进行导航的 JUTIV-II。该课题来自国家自然科学基金 (59875032) 资助的高速智能车辆的研究项目。吉林工业大学智能车辆课题组在 1994 年研制出第一辆模型车 JUTIV-I, 该车可在计算机控制下跟踪白色条状路标并完成自动驾驶。在此基础上,

1998 年该课题组又研制出了 JUTIV-II 型智能车, 如图 1 所示。该模型车采用了预瞄技术, 激光测距技术, 在软硬件上都进行了较大的改进, 使得 JUTIV-II 较第一轮模型车性能有了很大程度的提高。JUTIV-II 的设计目标是: 研究低速智能车辆应用于柔性制造、装配系统的物流运输; 高速智能车辆可依据道路行车标线 (车道线) 作为导航路标实现车辆自主导航, 设计时速为 30km/h。1999 年 11 月吉林电视台和 2000 年 1 月中央电视台报道了 JUTIV-II 的户外试验情况, 在社会上引起了较大反响。本文重点分析机器视觉系统的路面图像变形原因并提出图像畸变矫正算法。

目前, 机器视觉导航主要有两个研究方向。一是完全意义上的“视觉技术”, 它能模拟人的视觉原理来识别道路^[2]。其实现方法是在智能车辆上装两台或



图1 实验中的 JUTIV-II

多台摄像机, 进行 3D 图像处理, 然后根据一定的算法识别前方路径, 从而实现自动导航^[1]。另一研究方向是标识线图像识别法, 即“有线式”视觉导航。它根据路面或路边的明显路径标识线 (lane marker), 通过车载 CCD 摄像机动态摄取路面图像, 经车载计算机处理识别出路径标识线, 并判明车辆纵向轴线偏离标识线的距离及其与标识线间的夹角。通过控制转向系统使 IV 的实际行驶路线与路径标识线的偏差保持在允许的范围内。这种导航方法具有简单实用、能适应现有高速公路结构环境的特点。与完全意义上的视觉

导航技术相比, 这种“有线式”导航方式无疑具有更快的图像处理速度和更好的控制实时性, 也具有很好的研究和应用前景^[3]。事实上, 德国的 Vornas-p 智能车系统、美国的 Navlab-5 智能车系统都是以识别高速公路道路标志线来实现智能车辆的高速自主导航^[4]。JUTIV-II 也采用了标识线图像识别法导航, 该车整体布置如图 2 所示。该车的视觉系统硬件由 CCD 摄像机、图像采集卡和数据传输线构成。为提高视觉系统的适应性, 设计中采用了云台机构。云台机构由两台程控步进电动机和 CCD 摄像机构成, 两台步进电机可分别控制 CCD 摄像机的水平旋转和竖直旋转, 使其产生扫描动作 (改变视野的方向) 和俯仰动作 (改变俯仰角以获得不同大小的视野), 以满足 JUTIV-II 在不同情况下对视野的要求。

1 视野的选择

本文所述的智能车辆视野指的是 CCD 摄像机所能摄取的车辆前方的路面区域, 如图 3 所示。图 3 中的地面区域 ABCD 即为 CCD 摄像机的视野范围。本文中视野参数包括: 预瞄距离 HE, 预瞄范围即 ABCD 的面积, CCD 摄像机的俯仰角 $\angle FOH$, 摄像机镜头中心点到地面的垂直距离 OH。

JUTIV-II 导航信息主要通过视觉系统摄取的路面图像信息获得, 而摄像机所能得到的路面图像信息与视野密切相关。因此, 视野的合理选择对于智能车导航具有重要意义。视野的选择主要受到两个因素的制约: 车速和视觉系统的分辨率。

根据郭孔辉院士车辆预瞄理论^[9], 车速与预瞄距离之间有下列关系

$$D=V\times (1.2\sim1.4)$$

根据这一公式以及驾驶员的经验可得到车辆不同车速时所需的预瞄距离。在 10km/h 以下, 需要 2~5m 的预瞄距离; 在 40km/h 左右时, 需要 10~20m 的预瞄距离; 当车速达到 100km/h 时, 需要 40~80m 的预瞄距离。预瞄范围与车辆行驶速度与车辆控制频率有关。驾驶员在高速行车时会出现“管视”^[5]现象, 车速越高, 这种现象越明显。智能车自主导航时, 也会出现类似现象。该现象是指在预瞄距离很大时, 如果摄像机视场角 (包括水平视场角即图 3 中的 $\angle AOB$ 和垂直视场角即图 3 中的 $\angle EOG$) 不变, 则视野范围急剧变大, 结果造成图像中的有效路径信息

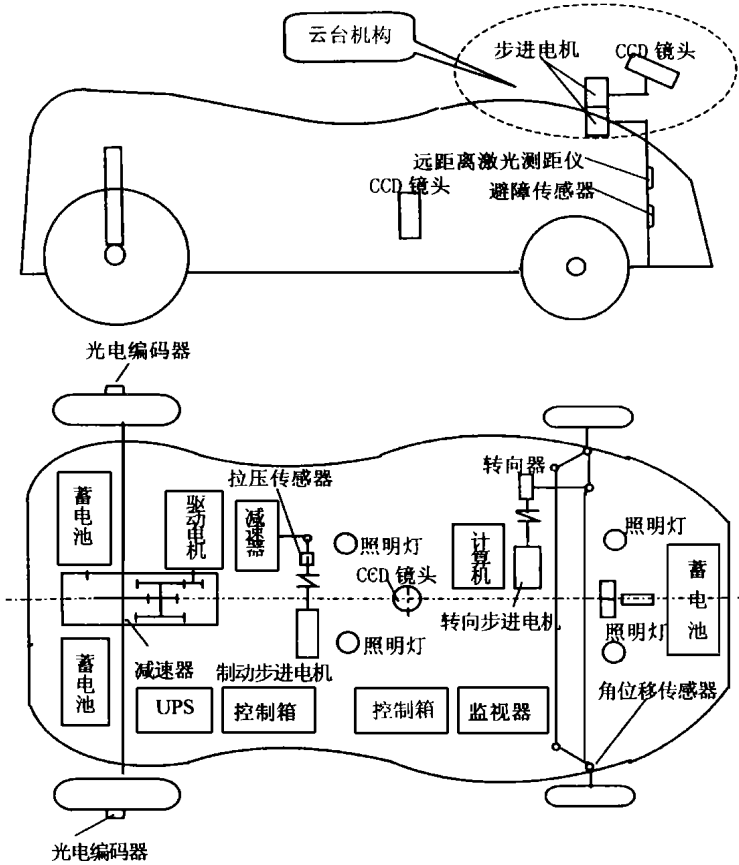


图2 JUTIV-II 结构示意图

急剧减少。如果视场角可变，则视场角应随着车速的提高而减小。控制频率对预瞄距离和视野范围的影响是控制频率越高，需要的预瞄范围越小。为适应这些情况，在设计机器视觉系统时，国外智能车如 MarV-Eye 的视觉系统采用了三焦距摄像机^[4]（trifocal cam-

era）。有的视觉系统采用固定焦距的多个摄像机，以得到合适的视野范围。由于资金方面的原因，在 JUTIV-II 上采用的是用云台机构来近似满足智能车辆在不同工况下对于视野范围的不同需要。

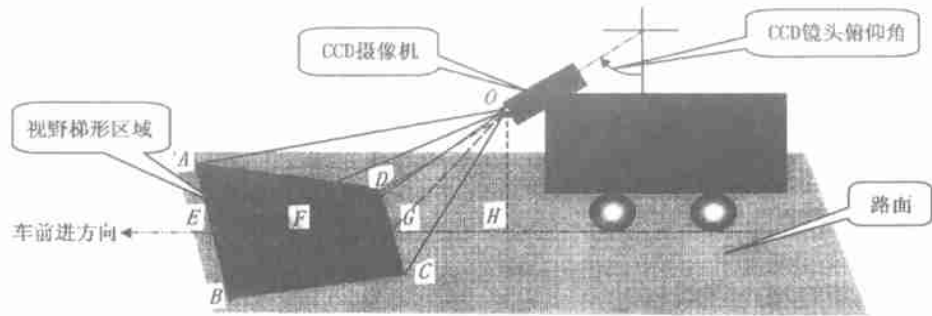


图 3 JUTIV-II 云台视野

对于同一摄像机，它所摄取的图像像素点数目是一定值。因而对不同大小视野的图像就具有不同的分辨率。本文所指的分辨率是指单位长度（cm）在图像上所得到的像素个数。图像识别的准确性与其图像分辨率的大小密切相关。不同的路况，需要不同的分辨率。摄像机的分辨率，并不是越高越好。因为分辨率越高，对噪声的敏感性也越高。因而，对于分辨率的

选择要根据实际情况经试验加以确定。JUTIV-II 行驶速度小于 30km/h，CCD 俯仰角采用 30 度，可以得到较好的试验效果。此时的视野梯形上底 AB 为 101.98cm，下底 CD 为 72.31cm，高 EG 为 77.17cm。表 1 所示为不同俯仰角对 JUTIV-II 的视野及其线分辨率。

JUTIV-II 不同俯仰角时视野范围及相应的线分辨率 表 1

$\angle FOH$	预瞄距离	视野梯形					
	EH (cm)	上底 AB (cm)	上底线分辨率 (pixel/cm)	下底 CD (cm)	下底线分辨率 (pixel/cm)	高 EG (cm)	纵向线分辨率 (pixel/cm)
0.1	28.12	72.39	4.3	72.31	4.3	55.89	4.0
10.1	46.55	77.79	3.9	69.64	4.4	57.84	3.8
20.1	68.69	86.92	3.5	69.18	4.6	64.21	3.5
30.1	99.43	101.98	3.0	70.87	4.3	77.17	2.9
40.1	140.46	128.07	2.4	74.98	4.1	102.53	2.2
50.1	215.68	179.42	1.7	82.25	3.7	157.57	1.4
60.1	400.99	315.5	1.0	94.25	3.3	317.51	0.7
70.1	1944.51	1494.45	0.2	114.41	2.7	1825.72	0.1
72.6	3437.37	26392.56	0.0	121.53	2.5	34247.15	0.0

说明：1. 以上数据所对应的云台参数：云台高 $OH=90\text{cm}$ ，CCD 的垂直视场角 $\angle EOG=34.5^\circ$ ，CCD 的水平视场角 $\angle AOB=42^\circ$ ，308/222 像素图像；2. 纵向线性分辨率指的是最小纵向分辨率；3. 同一幅图像在纵向上不同的位置分辨率是不同的。

由表 1 可知：在其它条件不变时，改变摄像机俯仰角就可以得到较大范围的视野。预瞄距离从 0.1° 俯仰角时的 28cm 的视野范围到 72.6° 俯仰角时的 3437.37cm 的视野范围，变化了 1227 倍。视野梯形上底线分辨率从 4.3pixel/cm 减小到 0.01pixel/cm，变化了 430 倍。对于视野梯形下底线，分辨率则从 4.3pixel/cm 减小到 2.5pixel/cm，仅变化 1.7 倍。俯仰角变化时视野大小与视野中各点的分辨率变化很大，

这反映了路面在摄得图像中的变形也很大。因而，视野大小不同时，图像的变形即畸变程度是不同的。所以，为了得到路面的实际信息，需要在识别路标的时候对图像的畸变进行矫正。

2 图像畸变及其恢复

2.1 图像畸变的产生

车辆以不同车速行驶时需要不同的视野范围，

JUTIV-II 获得不同的视野范围是通过云台结构仰角的改变而得到的。由于俯仰角不为零, 图 3 中摄像头的主光轴 OF 与所摄的路面不垂直, 而像平面即 CCD 阵面与摄像头主光轴垂直, 根据几何光学知道, 图像存在几何图形畸变。

为了更清楚地说明此问题, 本文设计了图 4 的示例。在地面上的一个等腰梯形的区域, 经过一定俯仰角的摄像头摄取后, 可在图像中得到一个矩形区域。图 4 (a) 表示被摄的地面梯形区域内有两条不平行的白线, 中央白线在摄像头轴线所在的垂直地面的平面内, 另一条白线则与中央白线有一夹角。图 4 (b) 表示 (a) 所示的地面梯形区域经摄像头摄得的图像, 图像中两条白线显示出了平行关系, 且可以看出纵向变化率在图像各部分是不同的。

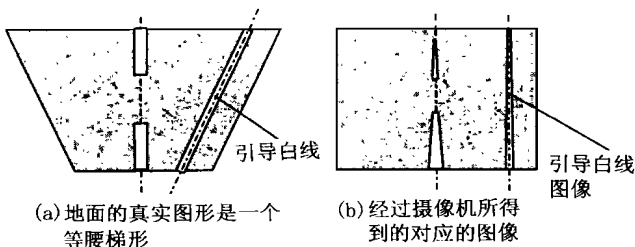


图 4 图像的畸变

事实上, 图 4 所示的情况只是表明了像平面矩形阵面的某一边与被摄物体所在平面平行时所得到的图像畸变情况。当像平面矩形阵面的各边均不与被摄物体表面平行时, 如果还要得到图 4 (b) 所示的图像, 则被摄取的地面区域图 4 (a) 将不再是一个等腰梯形, 而是一个普通四边形, 这种情况处理起来更为复杂。为此, 可以通过云台的设计与控制, 使像平面矩形的任意两边始终与被摄物体表面平行, 从而简化图像处理。

2.2 图像畸变的矫正

在进行图像的畸变矫正前, 首先证明一个结论: 图 5 所示的等腰梯形 $A'B'CD$ 的对角线的交点 O_1 在 CCD 摄取的图像上的像点与矩形 $ABCD$ 的对角线交点 O_2 在图像上的像点相重合。

在图 5 中, $OABCD$ 是一个投影锥体, 两平面与该锥体相截得到平面图形 $ABCD$ 和 $A'B'CD$ 。 OO_2 为摄像头透镜的主光轴, 垂直于平面 $ABCD$, 即平面 $ABCD$ 与像平面平行, O_2 是对角线 AC 与 BD 的交点。根据几何光学知道, 任一平面与投影锥体相截所得的平面图形在像平面上产生的图像相同, 所以这两个平面图形有相同的图像形状。现只须证明 $A'B'CD$ 对

线的交点 O_1 也在 OO_2 上, 即可证明所提出的结论。

直线 CA 和直线 CA' 同在一个平面 OCA 中, 直线 DB 和直线 DB' 同在平面 ODB 中, 两平面的交线 OO_2 唯一; 又因为 O_1 同时在两平面上, 因而 O_1 必须在两平面的交线 OO_2 上。这就证明了上述结论。

图像畸变矫正的原理是: 从像平面上的任一点 $P(x', y')$, 得到垂直于主光轴 OB 且与之相交于点 B 的物平面的坐标 $P'(x'', y'')$, 再得到对应平面 $DD'F'F'$ 上的坐标 $P(x, y)$ 。这样就完成了对图像畸变的矫正, 如图 6 所示。

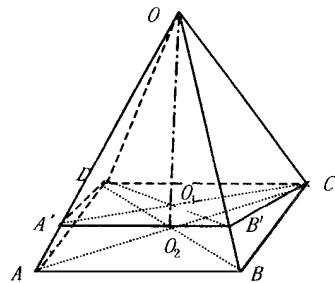


图 5 投影锥体

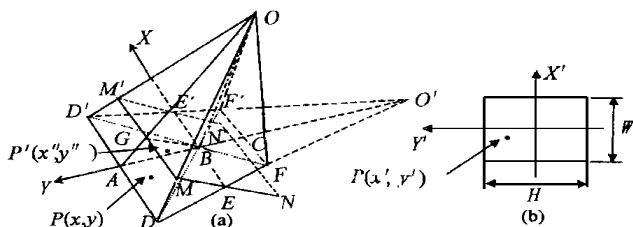


图 6 图像矫正示意图

图 6 (a) 中的 $DD'F'F'$ 为摄像头所摄到的路面区域形状, B 点是 $DD'F'F'$ 的对角线交点, OBO' 是主光轴 OB 与地面的夹角, O' 是等腰梯形两条边延长线的交点。 GB 垂直 OB 于 B , $MM'N'N$ 是垂直于主光轴的物平面。

图 6 (b) 是 $DD'F'F'$ 经摄像头摄取后形成的图像。图像畸变矫正的过程可用下式表示

$$y_{AB} = \frac{2^\circ y' \cdot \lambda_1 \cdot \sin(90^\circ + \arctan(2^\circ y' \cdot \lambda_2))}{\sin(\alpha_0 + \alpha_1 - \arctan(2^\circ y' \cdot \lambda_2))} \quad (1)$$

$$y_{BC} = \frac{2^\circ y' \cdot \lambda_1 \cdot \sin(90^\circ + \arctan(2^\circ y' \cdot \lambda_2))}{\sin(\alpha_0 + \alpha_1 + \arctan(2^\circ y' \cdot \lambda_2))}$$

$$x_{AB} = \frac{L + y_{AB}}{L} 2x' \cdot \lambda_3 \quad (2)$$

$$x_{BC} = \frac{L + y_{BC}}{L} 2x' \cdot \lambda_3$$

式中, 下标 AB 表示在图 6 (a) 所示坐标系中的 Y 轴正半轴区域内的坐标; 下标 BC 则表示图 6 (a) 所示

坐标系中 Y 轴负半轴区域内的坐标; y' , x' 分别表示图像的纵坐标和横坐标; λ_1 为 GB 与 H 的比值; λ_2 为 λ_1 与 OB 的比值; λ_3 为 BE 与 W 的比值; L 为线段 OB 的长度; α_0 为主光轴与物平面夹角的余角; α_1 为摄像机镜头纵向视角之半。

3 试验与分析

上述图像畸变矫正原理实际应用于 JUTVI-II 智能车辆的视觉导航系统, 其所得结果见图 7、图 8。

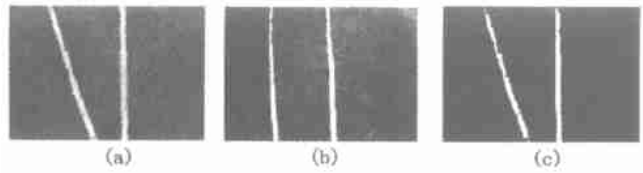


图 7 两条不平行路标的图像摄取与矫正

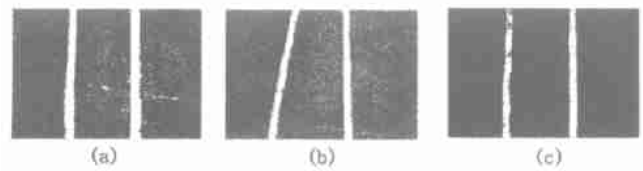


图 8 两条平行路标的图像摄取与矫正

图 7 所示为两条夹角为 20° 的路标的矫正处理情况。(a) 为 CCD 摄像机主光轴与路面垂直时所摄得的无畸变的图像。(b) 为 CCD 摄像机主光轴与路面垂线夹角约 25° 时所摄得的图像。从图中可以看出, 两条白色路标变成几乎是平行的。这是因为摄像机俯仰角不为零而产生了图像畸变。因此, 只要 CCD 摄像机的主光轴与路面不垂直, 所得图像就一定存在畸变。(c) 表示经过畸变矫正处理后的图像。可见, 经过矫正后的路标图像正确反映了路标的实际信息。

图 8 所示为两条平行路标图像及其图像的矫正过程。(a) 为 CCD 摄像机主光轴与路面垂直时所摄得的无畸变的平行路标图像。(b) 为俯仰角为 25° 时 CCD 摄得的图像。从图像上可以看出, 两条实际平行的路标在图像中已经不再平行, 产生了一定的夹角。(c) 为经过畸变矫正方法处理后得到的图像, 可看出该图像与无畸变路标的图像相同, 反映了路面区域的

真实信息。需要指明的是, 图 6 图 7 由于摄自实际地面, 存在一些噪声干扰, 因而在进行图像畸变矫正之前对图像进行了除噪处理。

4 结论

JUTIV-II 型智能车主要是通过其机器视觉系统获得路面信息。由于智能车需要不同的预瞄距离和不同大小的视野, 摄像机的主光轴与路平面垂线间需有一定的夹角, 从而不可避免地产生图像畸变。为了能通过图像信息得到正确的路面信息, 必须对图像的畸变进行矫正。本文对 JUTIV-II 云台的视觉原理进行了分析并导出了图像畸变矫正的公式。经实验证明, 该云台图像畸变矫正算法可以准确地矫正图像的畸变, 为智能车导航参数的准确提取奠定了基础。中文分析并证明了被摄取的道路平面上的等腰梯形区域的对角线交点就是 CCD 摄像机得到的矫正图像对角线交点的结论, 并由此导出了云台视觉的图像畸变矫正算法。虽然这种方法针对的是 JUTIV-II 的视觉系统, 但也适用于其它类似的视觉系统。

云台算法仅解决了 JUTIV-II 图像畸变的矫正问题, 它还不能得出车辆导航控制器所需要的导航参数, 如方位偏差角和侧偏距离, 还需要通过对智能车所得到的图像进行滤波、边缘检测等处理, 才能得到正确导航参数, 这是智能车的另一个重要环节, 有关内容将另文叙述。

参考文献:

[1] Masayoshi Aoki. Image Processing in ITS. Japan: IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, 1998.
[2] Sayd P, Chapuis R, Aufrere R, Chausse F. A Dynamic Vision Algorithm to Recover the 3D Shape of a Non-Structured Road. France: IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, 1998.
[3] 王荣本等. 有线图像识别式自动引导车辆系统设计. 农业工程学报, 1994, 10 (3) .
[4] Ernst D Dickmanns. Computer Vision and Highway Automation. Vehicle System dynamics, 1999, 31: 325-343
[5] 刘哲义. 高速公路驾驶员生/心理特点对行车安全的危害与预防. 公路交通科技, 1999 16 (3): 73-75
[6] 郭孔辉. 汽车操纵动力学. 吉林科学技术出版社, 1991: 514-533.