

基于计算机仿真的全景视觉镜面设计

Simulation-based Mirror Design for Omni-directional Vision System

(上海交通大学机动学院机器人研究所) 庄惠敏 曹其新
ZHUANG Hui-min CAO Qi-xin

摘要:文章用反射镜面设计的理论知识和计算机仿真,为实现应用于中型组足球竞赛机器人全景视觉系统的反射镜面的快速有效的设计,自主开发了用于镜面轮廓设计的仿真设计系统,并设计制造了满足机器人任务要求的特殊曲线的反射镜面。通过实践表明基于知识和计算机仿真的现代设计方法大大提高了反射镜面设计的质量和效率,能从整体上把握设计的合理性,避免设计出错和产品返工,节省制造成本,并令设计结果满足预计的任务需求。

关键字:全景视觉;计算机仿真;镜面轮廓设计
中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A

Abstract:In order to design a reflected mirror for the robot's omni-directional vision system efficiently, a mirror designing and image simulation system is developed in the essay. This system has involved the theory of mirror reflection and the method of computer simulation. A mirror which meets the special demands of the robot to accomplish its missions is designed and manufactured, using the developed designing and simulation system. It turns out that the simulation-based designing method can improve the quality and efficiency of the mirror manufacture, and reduce the cost in the mean time.

Key words: omni-directional vision; computer simulation; mirror design

引言

全景视觉系统是由一个朝上放置的摄像头和一个反射镜面组成,摄像头通过反射镜面获得360度范围的图像。因其视野广泛,足球竞赛机器人通常采用全景视觉系统来获取整个球场的信息。反射镜面是影响全景视觉的图像效果和观察范围的重要因素。美国哥伦比亚大学的Simon Baker和Shree K. Nayar等人专门对全景视觉系统的几何特性进行了仔细的研究和分析,并提出了“单一视点(single viewpoint)”的问题。符合单一视点的曲面,所有射向焦点的光线经过反射后都射向另外一个焦点或者平行于对称轴,而不是散射开来。

研究表明,不同镜面适用于不同的观察需求。常用的曲面镜面(如抛物面,锥面等)往往不能同时满足执行特殊任务的机器人的多个观察需求。于是有学者提出根据观察需求或者假设的成像效果反推镜面的曲面,以设计出满足特殊任务需求的镜面轮廓。本文的镜面设计过程是根据反推算力求得曲面轮廓,并且建立相应的模型仿真预先观察成像效果,与期望的成像进行比较,根据一定的评估和分析,优化参数,由计算机完成大量的计算过程和定量分析。这种设计方法可以高效地设计出性能好、成本低的镜面。

1 镜面设计原理及成像仿真系统的开发

1.1 镜面设计原理和方法

庄惠敏: 研究生
基金项目:863项目基金资助项目(2006AA04Z261)

要预知经过镜面反射之后的成像效果,就必须知道镜面曲线和经过镜面反射后的成像点(CCD上的成像单位)与现实空间点的映射关系。

以小孔成像模型作为摄像头的成像模型,因为镜面是旋转对称的结构,只需研究二维的镜面剖面曲线。如图2所示,根据光线反射定理和小孔成像法则,可以得到如下关系式:

$$\begin{cases} x = \frac{dx \cdot F(t)^2 - 2f \cdot F(t) - dx}{f \cdot F(t)^2 + 2dx \cdot F(t) - f} F(t) + t \\ Y = F(t) = H - h + \frac{f}{dx} t \end{cases} \quad (1)$$

上式中F(t)为曲线方程,具体的关系式推导可参考。

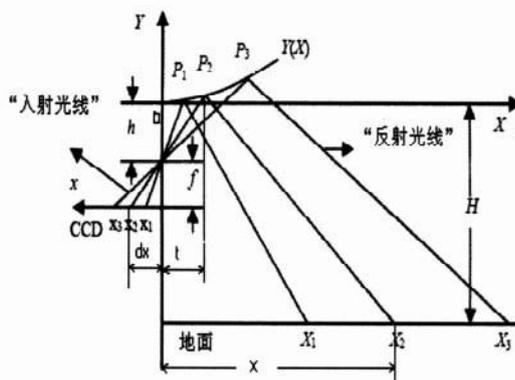


图1 镜面成像原理

若是未知镜面曲线方程,而给定现实点与图像点的对应关系,则需要反推镜面轮廓线。逆向求取镜面曲线的方法分为两种:解析解和数值解。本文采用求数值解的算法,因为它计算复杂度小,利于编程实现。主要实现流程如图2所示:

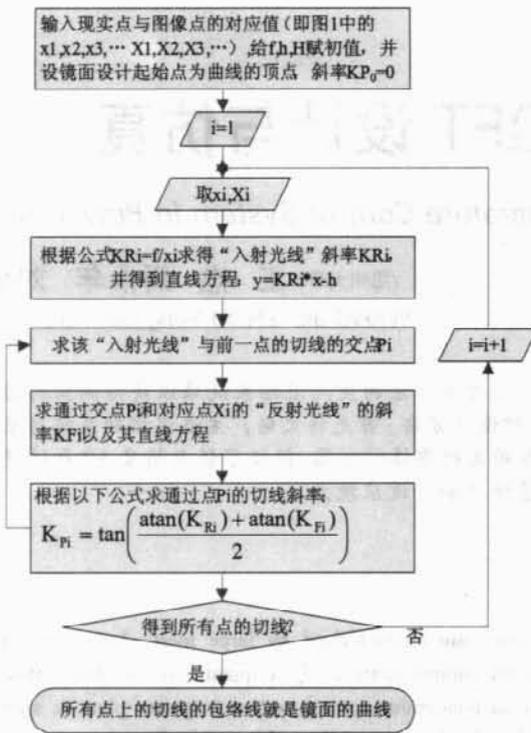


图 2 镜面轮廓设计实现流程图

1.2 成像仿真

为了使镜面曲线设计更直观,更方便调整参数,对镜面成像效果进行仿真预览可以使设计的应用更加友好,同时利于提高效率 and 设计质量,避免设计和预期的效果出现过大的出入,造成时间和成本的浪费。仿真系统以 Matlab 为开发平台,因为 Matlab 具有强大的数学计算功能以及图像处理库,可以提供方便的函数调用,缩短仿真系统开发的时间。

根据上述得到的图像和实际空间矢量的映射关系来进行成像图形的仿真。首先需要获取进行镜面映像的环境,文中用于仿真的环境是足球机器人的比赛场地(包括场地上的白线,球门,门柱等)以及比赛用球。场地上的物体信息都是简单的规则性几何体,确定了全局坐标系之后,即可以得到各个物体的空间表达式,即它们的数学模型。假设以场地中央为全局坐标原点,根据右手法则,长度方向为 x 轴(指向黄球门),宽度方向为 y 轴, z 轴垂直地面向上,则主要物体的数学模型如下(计算单位为 mm):

$$\text{球: } (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 = r^2 \quad (\text{其中 } r=110)$$

$$\text{黄球门: } \begin{cases} x=12000/2 \\ -1000 \leq y \leq 1000 \\ 0 \leq z \leq 1000 \end{cases} \quad \text{蓝球门: } \begin{cases} x=-12000/2 \\ -1000 \leq y \leq 1000 \\ 1 \leq z \leq 1000 \end{cases}$$

设机器人在场地中的位置为 $(dx, dy, \theta)^T$, dx, dy 为平面坐标位置, θ 是机器人朝向角。物体数学模型 $(x, y, \theta)^T$ 与以机器人视觉系统为原点的局部坐标下的表达式 $(x', y', z')^T$ 存在以下关系:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & dx \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

因为镜面为旋转对称镜面,为简化模拟成像的计算量,取 $\theta=0$ 。于是变换矩阵简化为:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

根据之前计算所得的像素与空间矢量(物体模型上的点必通过某一空间矢量)的关系式即可得到所设计的虚拟环境的成像效果图。之后根据成像效果图修改参数,并通过成像仿真快速达到所需要的效果,可得到最终的镜面加工参数。

2 实验与结果

所设计的用于足球机器人的镜面需满足下列要求:

- 1)当机器人在场地中间位置时,需要看到球门,以便区分己方球门和对方球门,确定运动的方向。
- 2)看到的远处的球要具有较准确的方向信息。
- 3)看到的近处的球要具有较准确的方向和距离信息,即要求近处的观察分辨率需要达到一定的要求。
- 4)尽可能少地看到机器人本身(无用信息),以便更多地获取机器人四周的环境信息。

根据以上要求,可将镜面分成两部分设计,一部分用来观察机器人 1m 内的范围,一部分观察 1 米外和球门的信息。实现过程如下:

事先根据需要考虑整个图像的观察区域分布,分配不同距离区间的分辨率,然后运行仿真程序得到镜面曲线和成像效果(见图 3),并且把镜面曲线的各点坐标保存成数据文件,方便后期的数控车床加工提取数据。实际镜面成像效果图如图 4 所示。

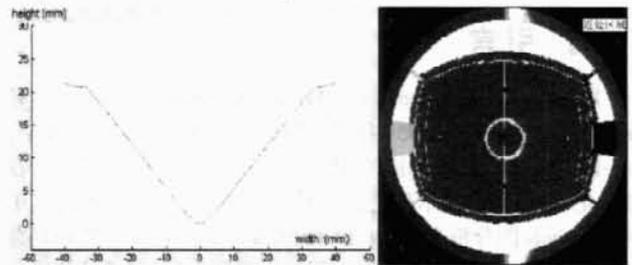


图 3 镜面剖面图和成像效果图

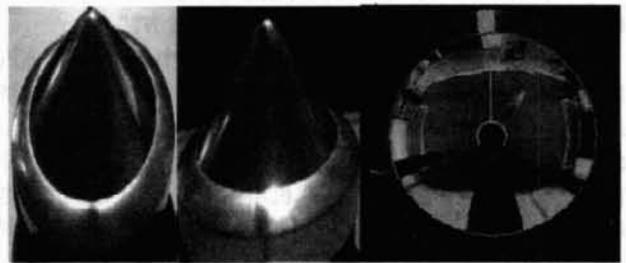


图 4 加工完成的反射镜面及实际镜面成像图

3 总结

通过虚拟仿真的计算机辅助设计方法以及镜面逆推算法,可以方便而有效地设计出全景视觉系统的反射镜面,满足了预先设想的任务要求,在足球机器人应用良好。借助计算机辅助设计及仿真方法,产品设计不仅提高了效率,更提高了设计的质量,并且能把设计集中在创新上而不是一些繁琐的计算和参数细化上。

(下转第 219 页)

时,设置对应的中断触发位为有效,同样由中断控制器判断是否满足中断条件进行相关调度。

以 T0 为例,控制依据为 TMOD 单元中的 D0~D3 位。当 TR0 为 1, GATE 为 0 时,如果 $\overline{C/T}$ 为 0,则作为定时器;如果 $\overline{C/T}$ 为 1,则记录 T1 脚输入脉冲,作为计数器使用。作定时器时,又由 M1、M0 的组合确定定时器范围。如 M1M0=00,则初始值为 X (TL0, TH0),最大值为 2^{13} ,从初始值循环累加至最大值,设置 TF0 为 1,触发定时器/计数器中断。作为计数器时类似,计数依据是 T1 引脚的脉冲变化。可以看出对 T0 的仿真可以作为一个独立的线程,启动依据为 TR0, GATE, $\overline{C/T}$ 各位情况,计算方法取决于 M1, M0 的状态。对 T1 的仿真类似。

3.5 串口仿真模块

无论发送还是接收,对串口中断的处理都位于地址在 0023H 的中断处理程序处,封装于 m51_Interrupt_23()方法中。由于本系统采用的是本机与其它机器的网络通信,因此,本地机器既作为服务器,也作为客户端,负责与其它机器上仿真的外围设备交换数据。

串口的发送、接收都分为四种模式。以发送模式 0 为例,当 SM0、SM1 位为 0, SBUF 单元数值发生变化,且 TI 位为 0 时,满足发送条件,将 SBUF 单元中的数据发送给外部设备,将 TI 位置为 1。中断调度器一旦监测到满足串口中断条件,则暂停正在执行的用户程序,转入串口中断 m51_Interrupt_23()方法。其它的发送模式类似。而接收模式则不断监听是否有其它机器的 socket 申请,若有,则按照不同的模式将数据解包入 SBUF 数据单元中,将 RI 位置为 1,等候中断调度器的进一步处理。

3.6 仿真系统的整体部署



图3 MCS51 嵌入式仿真系统部署图

如图 3 所示,由于仿真的 MCS51 嵌入式系统需要与外围仿真硬件通信,在此采用 socket 网络通信的方式,文章前述功能集中于用户控制主机系统中,其余仿真的硬件功能可以在另外的机器上。不同的外部硬件连接用不同的端口表示。

4 总结

本文通过分析单片机软硬件特点,搭建了嵌入式系统的最小测试仿真环境。由于系统采用 Java 技术实现仿真功能,方便地实现了系统多平台可移植性。该仿真系统以全数字模式仿真保证了实际硬件不适用情况下的系统联调,为嵌入式软件脱离硬件测试提供前提条件。对其它嵌入式硬件环境的仿真,有一定的借鉴意义。

文章创新点:

1. 搭建了保证目标机汇编软件运行的最小仿真系统。该系统实现了全数字模拟,完全脱离了实际硬件
2. 仿真系统本身的跨平台可移植性保证了运行于其上的汇编软件的跨平台性
3. 仿真系统为硬件缺位时嵌入式软件的系统联调提供了支持

参考文献:
[1]张卫华,李兴玮,黄柯棣.通用计算机半实物仿真系统设计与实现[J]微计算机信息 2006.12-1:226-228

作者简介:王晓华(1979-),女,博士研究生,研究方向为计算机软件分析、高可靠性软件测试;顾逸东,男,中国科学院院士;陈蔚薇,女,研究员;张涛,男,高工。

Biography:WANG Xiao-hua(1979-), Female, the Doctor, Research area: software analysis and software test; Gu Yi-dong, Male, CAS academician; Chen Wei-wei, Female, Researcher; Zhang tao, male, Senior Engineer.

(100080 北京中国科学院光电研究院)王晓华 顾逸东 陈蔚薇 张涛

(100080 北京中国科学院空间科学与应用研究中心)王晓华

(100039 北京中国科学院研究生院)王晓华

通讯地址:(100080 北京市 北京市海淀区中关村东路 95 号自动化大厦 310 室)王晓华

(收稿日期:2008.3.23)(修稿日期:2008.5.15)

(上接第 213 页)

创新观点:开发了镜面设计仿真系统,可以设计任意需求的镜面轮廓(包括传统的一定曲面方程的镜面和按需输入区间成像分辨率的镜面),并且根据该仿真系统设计制造了一个符合特殊任务需求的特殊曲线镜面(不同于其他现有曲面)。

参考文献:

[1]Simon Baker and Shree K. Nayar, A Theory of Catadioptric Image Formation[C], Computer Vision, 1998 Sixth International Conference, Published in Jan. 1998 on Page 35- 48.

[2]Jos é Gaspar, Claudia D éor, Jun Okamoto Jr etc., Constant Resolution Omnidirectional Cameras [C], In Proceedings of the Third Workshop on Omnidirectional Vision (OMNIVIS.02) IEEE, 2002.

[3]Fabio M. Marchese, and Domenico. G. Sorrenti, Mirror Design of a Prescribed Accuracy Omni-directional Vision System[C], In Proceedings of the Third Workshop on Omnidirectional Vision (OMNIVIS.02) IEEE, 2002.

[4]许成坤 蒋平.基于全维视觉的足球比赛机器人目标定位[J].微计算机信息 2005 8-3:85-87.

作者简介:庄惠敏(1981),女,籍贯福建省,上海交通大学机械电子系机器人所研究生,研究生,主要研究方向为智能机器人全景视觉导航;曹其新(1960),男,籍贯浙江省温州,教授,博士生导师,主要研究领域:机器人视觉,基于网络的机器人智能控制。Biography:ZHUANG Huimin (1981), Female, From Fujian Province, Robotic Research Institute, Shanghai Jiao Tong University, Postgraduate Student, Research on The Navigation of Robot Based on Omni-directional Vision.

(200240 上海交通大学机动学院机器人研究所)庄惠敏 曹其新
通讯地址:(200240 上海交通大学闵行校区 A0602021 班)庄惠敏

(收稿日期:2008.3.23)(修稿日期:2008.5.15)

书 讯

《嵌入式系统应用精选 200 例》
110 元 / 本(免邮资) 汇至

《80C51 宏汇编程序设计语言》
22 元 / 本(免邮资) 汇至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室
微计算机信息杂志收 邮编:100081
电话:010-62132436 010-62192616(T/F)