



# 光电鼠标在机器人定位中的应用

李少泽<sup>1</sup>, 乔文文<sup>2</sup>, 杨宇轩<sup>1</sup>, 崔祎赞<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学 机电学院, 南京 210016; 2. 南京信息工程大学)

**摘要:** 设计了一种基于光电鼠标的机器人定位系统, 通过放置在小车前部的一个鼠标芯片获取 X、Y 方向的位移数据, 经 STM32 单片机处理后形成坐标值, 由 TFT 液晶屏显示出小车行走的轨迹。经实际测试, 测量位移的误差在 0.5% 以内, 能够满足机器人系统的要求。

**关键词:** 光电鼠标; 机器人定位; 航迹推算; 鼠标成像

**中图分类号:** TP242.6

**文献标识码:** A

## Application of Optical Mouse in Robot Positioning

Li Shaoze<sup>1</sup>, Qiao Wenwen<sup>2</sup>, Yang Yuxuan<sup>1</sup>, Cui Yiyun<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016;

2. Nanjing University of Information Science & Technology)

**Abstract:** A robot positioning system based on optical mouse is designed. The displacement data of X, Y directions are collected by a mouse chip placed on the front of the cart and processed by STM32 MCU so as to form coordinate values. The cart's trajectory is displayed by TFT LCD. Test results show the measurement error of the displacement data is less than 0.5%, which can satisfy the demands of robot system.

**Key words:** optical mouse; robot positioning; dead reckoning; mouse imaging

## 引言

光电鼠标的工作原理是利用凸透镜将物体的表面成像在 CMOS 芯片上, 以每秒数千帧的速度进行拍照<sup>[1]</sup>, 图像信息经内置的 DSP 处理后得出位移值, 其典型分辨率为 800 DPI, 理论上最小能分辨 0.03 mm 的位移。光电鼠标芯片作为一种廉价的高精度位移传感器, 可以用于移动机器人定位。

参考文献[2]中提出在小车两轮处放置两个鼠标传感器, 根据两者记录位移的差值可以推算出小车的转向。光电鼠标虽然理论上能分辨出几十  $\mu\text{m}$  的位移, 实际上长距离移动时的错误率很高, 用上述方法推算转向误差很大。本文提出的方案是在两轮小车的前部安装光电鼠标芯片, 测得 X 方向的位移将其变换为小车转弯的角度, 而 Y 方向的位移则变换为小车行驶的距离, 通过三角函数运算, 得出二维直角坐标系中小车的位移。通过换装长焦距的透镜, 可以使光电鼠标芯片工作的高度增加, 能在离开桌面 5 mm 的高度工作, 方便在机器人上应用。

本文中机器人定位采用航迹推算法<sup>[2]</sup>, 即根据机器人的方位角和行走的距离推算出机器人的位置, 两者均由鼠

标芯片数据计算得出。

## 1 总体方案

本系统由传感器部分、单片机、TFT 显示屏、车体组成。其中, 传感器部分包括 A2639 鼠标芯片、PCB、镜头, 传感器部分使用 PS/2 协议与单片机通信, 将采集到的位移信息传送给单片机; 单片机通过串口, 将小车行驶的路径线显示在 TFT 液晶屏上。车体是两驱动轮加一个万向轮结构, 通过两驱动轮差速实现转弯。

## 2 硬件设计

### 2.1 A2639 鼠标芯片

A2639 是埃派克森公司的最新产品, 片上集成了传感器和控制器, 支持 USB 和 PS/2 接口, 有 800 DPI 和 1600 DPI 两档分辨率可选。为提高精度, 将引脚 7 上拉至 5 V, 选择 1600 DPI 分辨率, 并使用 PS/2 接口与 STM32 单片机通信, 其原理图设计如图 1 所示。根据此原理图, 设计了 3 cm×3 cm 的 PCB 板, 板上预留镜头座安装位。

### 2.2 光学系统改装

一般鼠标的光学透镜是一体式的塑料透镜, LED 将

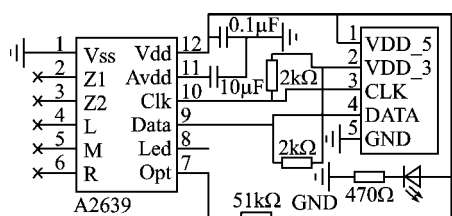


图1 鼠标芯片电路原理图

被测表面照亮后,经塑料透镜的聚焦,在芯片的位置成像。这种安装形式中,被测的桌面、透镜、芯片构成一个凸透镜成像系统,示意图如图2所示。

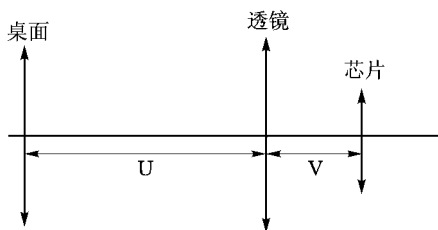


图2 鼠标成像系统示意

物像距离的关系为:  $1/U + 1/V = 1/F$ , 其中,  $U$  为桌面到透镜的距离,  $V$  为芯片到透镜的距离,  $F$  为焦距。经测量在通用的鼠标塑料透镜中:  $U = 5.0 \text{ mm}$ ,  $V = 3.8 \text{ mm}$ , 求得原鼠标透镜焦距为  $F = 2.16 \text{ mm}$ 。本系统换用焦距  $6 \text{ mm}$  的玻璃透镜, 安装时  $V$  取  $8 \text{ mm}$ , 求得  $U = 24 \text{ mm}$ , 由于镜头有一定长度, 调整后镜头的下表面距地面  $5 \text{ mm}$ 。

制作的实物照片如图3所示, 透镜通过一个镜头座安装在PCB板上, 并外加一个红光LED, 照射透镜正对的桌面位置, 整个部分安装在小车最前方。

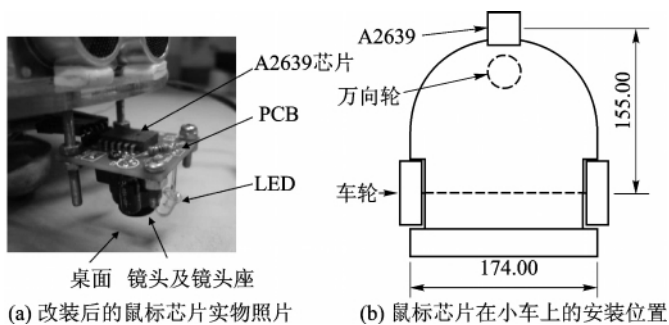


图3

## 2.3 STM32 单片机

系统处理器选用 STM32F103RBT6 单片机, 是一款基于 Cortex-M3 内核的 32 位微控制器。工作频率最高可达  $72 \text{ MHz}$ , 使用两个 I/O 口模拟 PS/2 接口, 初始化成功后以中断方式接收鼠标发送的数据, 速度为每秒 60 次。然后用液晶屏逐点显示出小车行走的路线。

## 2.4 液晶显示

本系统使用一块  $320 \times 240$  分辨率的 TFT 液晶屏作为显示设备, 显示出小车运行的轨迹。

单片机控制小车沿一定路线行驶, 同时光电鼠标芯片记录位移, 由上述算法计算出小车实时的坐标  $(U, V)$ , 并将这个点显示在 TFT 液晶屏上。一系列的点组成小车的轨迹, 实现小车定位并显示轨迹。

## 3 软件设计

### 3.1 PS/2 通信协议

PS/2 是一种双向同步串行协议, 主机在总线上具有优先权, 时钟由设备产生, 多数设备的工作频率在  $10 \sim 20 \text{ kHz}$ 。<sup>[3]</sup>

标准 PS/2 鼠标的位移和按键信息以 3 字节数据包的形式发送给主机。其中, 字节 1 包含键位信息及位移方向信息; 字节 2 和字节 3 分别为 X 方向和 Y 方向的位移。

在本系统中, STM32 单片机连续读取 3 字节的数据包, 将 2、3 字节的位移信息与第 1 字节的方向及溢出情况综合后赋给全局变量, 以记录两个方向的位移。

### 3.2 位移采集算法

将小车简化为等腰三角形, 如图4所示, A、B 两点为车轮, C 点为鼠标芯片,  $h$  为鼠标芯片到车轮轴线的距离,  $d$  为两轮间距。对于两轮的机器人小车, 都采用两轮差动的转弯方式, 转弯一般有 3 种情况: 一轮转动而另一轮静止; 一轮快速转动而另一轮慢速转动; 一轮正转而另一轮反转。

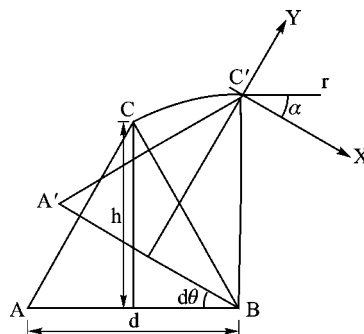


图4 原地转弯过程几何分析

#### 3.2.1 一轮转动而另一轮静止

设在这种转弯情况下, 小车右轮不动, 左轮正转, 取转弯过程的一个微元, 当转过  $d\theta$  度时, 鼠标芯片划过一段圆弧  $CC'$ , 设  $d\theta$  极小, 则  $CC'$  可近似看作一小段直线。

在小车上固定一个坐标系, X 轴与小车两轮轴线平行, Y 轴与车身纵轴线相对应。此时鼠标芯片测得的两个方向的数据分别等于小车与地面的相对位移在 X 轴和 Y

轴的分量。

在小车的坐标系中：

CC'与X轴的夹角  $\alpha = \tan^{-1} \frac{d}{2h}$

CC'在X方向的分量  $dx = CC' \times \cos \alpha$

在Y方向的分量  $dy = CC' \times \sin \alpha$

$CC' = CB \times d\theta$

$CB = \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}$

当小车转过角度  $\Psi$  时，积分得到小车坐标系中X轴的位移量：

$$X = \int_0^{\Psi} \cos\left(\tan^{-1} \frac{d}{2h}\right) \cdot \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} d\theta$$

此式化简为：

$$X = \int_0^{\Psi} h d\theta = h \cdot \Psi$$

Y轴的位移量：

$$Y = \int_0^{\Psi} \sin\left(\tan^{-1} \frac{d}{2h}\right) \cdot \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} d\theta$$

此式化简为：

$$Y = \int_0^{\Psi} \frac{d}{2} d\theta = \frac{d}{2} \cdot \Psi$$

此处X和Y的位移量即鼠标芯片测得的两个方向的数据。

### 3.2.2 一轮快速转动而另一轮慢速转动

与第一种情况类似，当转过  $d\theta$  度时，鼠标芯片划过一段圆弧CC'，如图5所示。

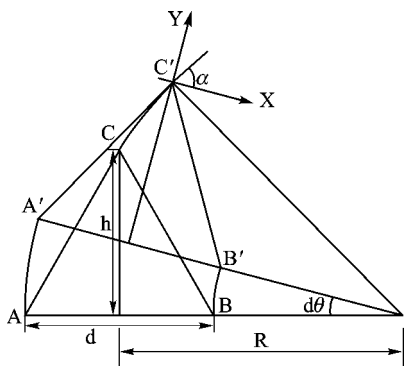


图5 差速转弯过程几何分析

此时两轮同时差速正转，小车走过一个较大的圆弧，设转弯半径为R。同理CC'可看作一小段直线，在小车坐标系中：

CC'与X轴的夹角为  $\alpha = \tan^{-1} \frac{R}{h}$

$CC' = \sqrt{h^2 + R^2} d\theta$

其他参数与第一种情况相同。当小车转过角度  $\Psi$

时，积分得到小车坐标系中X轴的位移量：

$$X = \int_0^{\Psi} \cos\left(\tan^{-1} \frac{R}{h}\right) \cdot \sqrt{h^2 + R^2} d\theta$$

此式化简得：

$$X = \int_0^{\Psi} h d\theta = h \cdot \Psi$$

同理：

$$Y = R \cdot \Psi$$

还有一种方式是一轮正转而另一轮反转。以这种方式转弯时，圆心为两车轮轴线的中点，显然，此时  $Y=0$ 、 $X=h \cdot \Psi$ 。

### 3.2.3 推导结果

由此推导出一个简单的关系：小车无论以何种方式转弯，其转过的角度都与鼠标芯片测得的X值成正比，而Y值始终代表了小车几何中心走过的距离，其比例关系可根据需要自行确定；小车直线行驶时，X的数据为零，Y值为以当前方位角直线走过的距离。所以上述算法已经考虑了两轮小车正常运行时的所有情况。

在1600 DPI下，每个单位代表1/1600英寸，即0.016 mm，则

$$\Psi = \frac{0.016 \cdot X}{155} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{X}{169}$$

单片机连续不断地采集鼠标芯片发送的X和Y方向的数据，每隔一定时间进入一个具有上述公式的子函数，把每次算出的  $\Psi$  值累加，即可得小车任意时刻的方位角  $\Phi$ ，而每次测得的Y值即在这个方位角上行走的距离。设大地坐标系为U0V，则小车在该时间内U向的位移为  $dU = Y \cdot \cos \Phi$ ；V向位移为  $dV = Y \cdot \sin \Phi$ 。将  $dU$  值和  $dV$  值累加，可获得任意时刻小车在大地坐标系下的坐标(U, V)，即“航迹推算法”。

## 4 实验结果

为了验证光电鼠标测量位移的可行性，对A2636鼠标芯片的精度进行了测试，测试时使鼠标移过相同距离，比较系统读数与实际位移，测量结果如表1所列。

将鼠标芯片移动100 mm的距离（即实际位移为100 mm），重复测量14次，实验时使用800 DPI模式。表中“读数”列的数据除以800得到位移值，单位为英寸；“测量距离”列为换算成毫米后的值；“随机误差”列是每次测量距离与均值的差。

经计算，测量均值为105.1 mm，而实际距离为100 mm，存在常值系统误差，其原因是改装鼠标光学系统后透镜放大倍率发生了变化，而这种误差可以通过加入修正系数来消除。随机误差反映了其精密度，鼠标芯片的随机误差最大为0.5%，实际应用时若消除常值系统误差，可以



保证系统整体的相对误差在 0.5% 左右,这样的精度能够满足一般机器人的使用要求。

表 1 测量结果

序 号	读数	测量距离/mm	随机误差/(%)
1	3300	104.8	-0.3
2	3310	105.1	0.0
3	3296	104.6	-0.5
4	3307	105.0	-0.1
5	3312	105.2	0.1
6	3296	104.6	-0.5
7	3325	105.6	0.5
8	3314	105.2	0.1
9	3308	105.0	-0.1
10	3320	105.4	0.3
11	3313	105.2	0.1
12	3316	105.3	0.2
13	3320	105.4	0.3
14	3307	105.0	-0.1

## 结 语

使用光电鼠标芯片作为机器人的位移测量传感器,具有成本低、不受车轮打滑影响等优点。本文提出在小车前部放置一个光电鼠标芯片,通过相关算法得到位移数据,

该方法对硬件要求低、算法简单可靠、实用价值高。本文提出的位移计算方法及改变鼠标工作高度的方法,弥补了其他参考文献中利用鼠标定位的不足。

由于算法中鼠标的 X 和 Y 方向的位移值都能推算出小车转过的角度,若在小车前部并列放置两块鼠标芯片,则有 4 种途径可以算出方位角的值。作为后期改进方案,可以引入多传感器信息融合技术,将 4 个值进行耦合,提高测量精度。

## 参考文献

- [1] 林邓伟,邢文生. 光电鼠标芯片组在无接触检测运动物体中的应用[J]. 微计算机信息,2006(22).
- [2] 唐璁,白涛,蔡自兴. 基于光电鼠标的移动机器人室内定位方法[J]. 微计算机信息,2005(5).
- [3] 陈智博,林永忠,蔡钟山,等. 光电鼠标传感器的精密测量与控制系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2009,(2): 57 - 59.
- [4] 张红冉,熊和金,薛念明. 基于光电鼠标传感器的纱线张力检测方法研究[J]. 科技创新导报,2009(33).
- [5] 孙宁,陈进,林立新. 一种基于光电鼠标传感技术的振动偏移量采集设备[J]. 电子器件,2011(3).

李少泽(助教),主要研究方向为测控技术。

(责任编辑:梅栾芳 收稿日期:2012-06-05)

## “2012 IBM 软件技术峰会”顺利闭幕

“技术维新,创造未来”,为期两天的“2012 IBM 软件技术峰会”近日在北京国际饭店举行。两千多位与会者与 IBM 知名专家、业界领袖精英、首席科学家齐聚一堂,就移动应用、云计算、大数据、敏捷开发四大热门话题,在创新理念、案例实践等诸多层面,进行了面对面的深度分享与探讨。

移动,改变生活、工作、社会生产和管理。为了让移动用户体验更加个性化,这就要求我们的应用、我们的业务流程变得更加智能,进而要求我们搜集、分析和利用一切得到的信息,深入理解你的用户,并且很好地了解业务的运作过程,从而使得你的业务流程可以建立在大数据带来的洞察的基础上,变得更加灵活。同时,这一切都需要更快地发生,因而需要一个更加有效、更加经济的开发,也就是敏捷软件的工程,让我们的开发和运维变得更加快捷。

移动应用、云计算、大数据、敏捷开发——IBM 将这四者完美地融合在一起,形成全新一代的商业基础设施。IBM 能够提供移动开发生命周期管理,同时拥有开发的能力和生命周期管理的能力,因而可以将一切过程都串联起来,实现敏捷开发,同时也因此能够更快地开发更高质量的产品。

云计算方面,IBM 认为应关注其应用层面,对于云环境(尤其是企业云),应该了解在这个云上运行的那些应用程序,包括应用的构成以及应用程序的需求。而云应该知道怎样来部署和管理应用的生命周期,同时也应对于应用需求的变化做出及时响应,因此需要做很多工作来配置、管理和优化云。

放眼未来,大数据的应用必将会分布到企业的每一个角落,而且会被企业的客户直接应用。正如 IBM 中国开发中心首席技术官兼新技术研发中心总经理毛新生先生所说:“为什么要谈大数据,因为我们今天拥有了新的数据,数据的类型越来越丰富,而数据质量却参差不齐,同时用户行为也需要进行筛选,所有这些带来了全新的挑战,这就是大数据的由来。在这样的趋势下,IBM 主张将已有的系统和新的系统,在数据这个层面上进行无缝的整合,让其发挥各自的作用,来实现非常完美的大数据的技术实践。”

云计算、大数据、移动应用、敏捷开发,会给我们未来的工作与生活带来怎样丰富多彩的变化呢?让我们拭目以待吧!

(责任编辑:芦潇静)