



基于 DM642 和 ARM 的空间移动平台信标光捕获与跟踪技术

尚 勇 吴钟乐 周 潜 李 浩 艾 勇

(武汉大学电子信息学院, 湖北武汉, 430079)

摘要: 空间移动平台信标光捕获与跟踪技术 (APT 技术) 是实现移动平台间激光通信的关键技术。本文采用 DSP 图像处理芯片 TMS320DM642 和用于控制电机的 ARM 芯片 (LPC2114 芯片) 作为硬件基础。ARM 控制步进电机使 CCD 进行光栅螺旋扫描, 通过 CCD 进行图像采集, 将图像信息送入 DSP 芯片, 信标光进入视场后, 利用灰度直方图算法自动确定阈值, 再利用质心算法将信标光的坐标提取出来, 通过得到的数据作为控制参数, 再调整电机的运动, 使光斑落在视场中心, 从而实现信标光的捕获和跟踪。

关键词: 空间光通信, APT, DM642, ARM

1. 引言

空间光通信采用激光作为通信渠道, 作为新型的通信方式, 具有方向性强、保密性好、传输容量大、传输速率高等优势, 成为卫星通信和航天航空通信方面的重要通信方式。而移动平台信标光的捕获与跟踪技术是实现移动平台间激光通信的关键技术, 因而能够进行快速、准确地捕获、对准和跟踪 (Acquisition、Pointing、Tracking, APT) 是实现高质量的空间光通信的前提。

我们将整个 APT 系统分为两部分, 即图像采集处理部分及电机控制部分, 其中图像处理部分采用了 TI 公司推出的 DSP 图像处理芯片 TMS320DM642 对 CCD 采集到的图像进行分析, 判断信标光是否进入视场, 并利用灰度直方图算法计算目标与背景间的阈值, 再利用质心算法得出信标光坐标。电机控制部分采用具有丰富控制功能的 LPC2114 芯片, 根据 DSP 处理后得到的数据对载着 CCD 的电机运动进行调整, 使信标光能够稳定在视场中央, 保证信息传输的稳定。

2. 系统架构

当 CCD 采集到视频信号通过 DM642 的视频输入端口进入视频处理模块, 经处理若发现信标光不在视场中, 则执行扫描算法, 直到信标光进入视场, 此时图像处理模块提取出信标光光斑的坐标通过串口发送给电机控制模块, 通过跟踪算法使信标光光斑停留在视场的中心位置。将信标光放置于由单片机控制的小车上, 模拟实现了空间移动平台间信标光捕获与跟踪实验。图 1 给出了系统总体结构图。

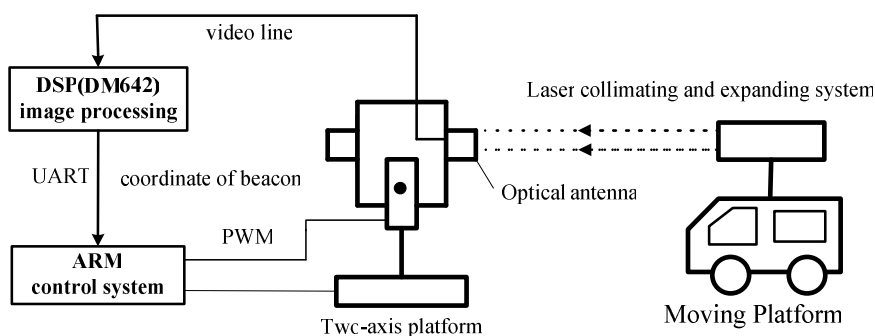


图 1. 总体结构图

Fig.1 Schematic configuration of the system

2.1 图像处理模块

图像处理模块的核心是图像处理芯片。本系统采用TI公司的DM642作为图像处理芯片。DM642片内包含8个并行处理单元,在时钟为600MHz时芯片的最大处理能力为4 800 M IPS (4.8亿条指令每秒),满足高速图像处理所需的速度和精度,3个可配置的Video端口,可以提供与视频解码器和视频编码器的无缝接口,使用DMA传送数据,无须CPU的控制和干涉。

采用闻亭公司研发的基于DM642的图像处理VCM板,其主要组成单元有视频采集单元、视频处理单元以及串口通信收发单元。其中视频采集单元主要由DSP 芯片DM642、视频A/ D 转换芯片TVP5150APBS和同步动态存储芯片SDRAM 等组成,来自CCD 摄像头的视频信号通过TVP5150APBS进行数字化处理,输出的视频信号经过视频端口的内部FIFO 缓冲后,由DM642 通过EDMA 将数据送到片外的SDRAM,以便视频应用程序使用。

对CCD 接收的图像在DM642 中用灰度直方图法进行处理,得到超过阈值的信标光的位置,再利用质心法求出信标光光斑的坐标,通过串口将信标光光斑坐标发送给电机控制及驱动模块以实现光学天线的目标对准。

2.2 电机控制及驱动模块:

本系统采用 PHILIPS 公司生产的专门用于工业控制的 LPC2114ARM 芯片及其外围电路,作为电机控制器。LPC2114ARM 芯片采用 ARM7TDMI—S 核技术,在控制方面拥有众多优势:采用 RISC 指令,流水线的执行结构,嵌入式操作系统移植性强等。图 2 示出了 LPC2114 内部结构:



图 2. LPC2114 内部结构

Fig.2 The inner structure of LPC2114

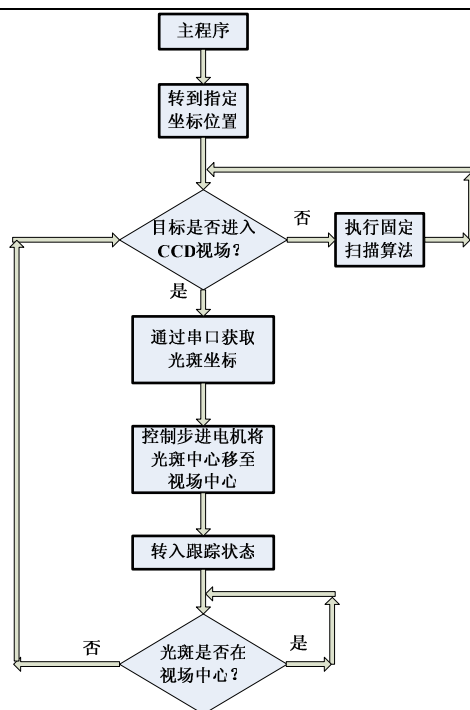


图 3. 软件总体流程图

Fig.3 General flow chat of software

电机控制模块，通过UART与中断方式获得图像处理模块处理得到的实时信标光坐标数据，并根据判断信标光是否在CCD视场内，实时调整与控制二轴电控转动平台执行扫描或跟踪捕获过程。当信标光不在CCD视场内，则执行扫描，一旦发现信标光，即信标光进入CCD视场，则执行跟踪捕获过程；若信标光在CCD视场内，则直接执行跟踪捕获过程，最终将信标光定在视场中央。

电机驱动器采用Leetro机电公司生产的DMD402驱动器，驱动器采用新型的双极性恒流斩波驱动技术，光电隔离信号输入，自动半流，可设置最大2A电流及最大125细分，振动和噪声较小

2.3 二轴电控转动平台

二轴电控转动平台采用北京光学仪器厂生产的MDOM101 型, 通过ARM控制器可实现转台的方位和俯仰角的精密转动。取最大值128细分时，转台的方位和俯仰角的转角精度可达2.725 urad和1.635urad。

2.4 光学系统

光学系统由信标光发射和CCD 接收部分组成。CCD为Unican系列的HV-9961 型, 有效像素为582(H) ×512(V) , 像素尺寸为8.25(H) μm ×7.03 (V) μm , 采样频率25帧/ s , 接收灵敏度为0.005勒克斯, CCD的视场角为3° ×3° 。CCD 安装在二轴转台上, 相当于光学天线的功能, 负责接收光信号, 通过ARM电机控制可实现CCD 的全空域扫描与信标光接收。

3. 软件设计

APT 控制系统主要由扫描、捕获和跟踪三部分组成，图 3 示出了软件设计总体流程图。

3.1 坐标提取算法

将 CCD 采集的 $M \times N$ 像素的黑白图像存入数据缓存器中，以灰度值（0-255）为 X 轴，以该灰度值的像素点个数为 Y 轴。由于背景和目标灰度值的不同，必然在坐标系中形成两个峰值，在两峰值之间选取像素点个数最少的灰度值为阈值，可以使目标和背景分割误差最小。

设采集到的灰度图像为 $I(x, y)$ ，（ $0 < x < M, 0 < y < N$ ）通过算法确定一个阈值 H 。则令：

$$I(x, y) = I_H(x, y), \text{ (当灰度大于阈值), 其像素个数为 } C_T$$

$$I(x, y) = I_L(x, y), \text{ (当灰度小于阈值), 其像素个数为 } C_B$$

$$\text{目标灰度和: } T_{sum} = \sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N I_H(x, y), \quad \text{背景灰度和: } B_{sum} = \sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N I_L(x, y),$$

$$\text{目标平均灰度: } Max = \frac{T_{sum}}{C_T}, \quad \text{背景平均灰度: } Min = \frac{B_{sum}}{C_B}.$$

则阈值即为（Min, Max）之间像素个数最少的灰度值。

3.2 质心算法:

在 DM642 中必须精确地从目标图像中取出目标的位置信息。常用的定位算法有：质心算法、形心定位法、峰值定位法、匹配定位法和投影中心法。质心算法的精度高、且算法简单，本文选择质心对目标进行定位。如上所述，若目标区域为 $M \times N$ 。则质心的位置为：

$$X_c = \frac{\sum_{x=0}^M I_H(x, y) \times x}{T_{sum}}; \quad Y_c = \frac{\sum_{y=0}^N I_H(x, y) \times y}{T_{sum}};$$

质心法反映了目标的能量的分布状况。该方法在理想的情况下定位精度小于 0.05 个像素。且适用的光斑范围大

3.3 螺旋扫描的方式和流程:

螺旋扫描的方式如图 4 所示，采用围绕中心，逐步扩大扫描距离进行多层扫描的方式，从而能够扫描到整个预定的不确定区域，

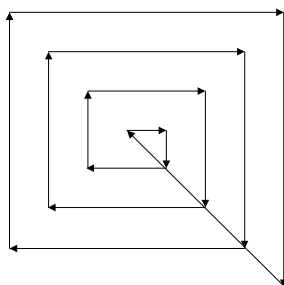


图 4. 螺旋扫描算法



Fig.4 Spiral scanning algorithm

由上图可以得出光栅螺旋扫描算法的基本思路 and 流程框架，即每扫过一个步长进行一次信标光的探测，从而判断是否继续扫描或者进入跟踪程序。

3.4 基于增量式 PID 控制的跟踪算法

PID 控制算法包括位置式 PID 控制算法和增量式 PID 控制算法，而在实时控制系统中常用增量式 PID 控制算法，其公式为^[7]：

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p \left(e(k) - e(k-1) + \frac{T_s}{T_I} e(k) + \frac{T_D}{T_s} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right) \quad (1)$$

其中， $\Delta u(k)$ 为输出的控制量， $q_0 = K_p$ 、 $q_1 = K_p \times T_s / T_I$ 、 $q_2 = K_p \times T_D / T_s$ 分别为比较项、积分项和差分项的系数， T_s 为采样时间，对于不同的控制系统， T_s 各不相同，要根据实际调试经验来确定，本实验 T_s 为 0.15s。由公式(1)知，只要贮存最近的三个误差采样值 $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 就可以计算出 $\Delta u(k)$ ，从而实现位置和速度的反馈控制，完成稳定跟踪。

4. 实验与结论：

按照图 1 所示结构进行了移动信标光的捕获与跟踪实验。研制系统实物照片见图 5。利用小车载着信标光在设计好的路线上运动，ARM 控制器按照设计程序控制转台进行光栅螺旋扫描，一旦捕获到信标光则转入到跟踪状态并锁定目标。如果因故信标光脱离 CCD 视场，则程序自动重新进入扫描捕获状态。

实验表明，系统跟踪角速度范围是 $0-10^\circ/\text{s}$ ，跟踪精度优于 0.5mrad ，结合我们课题组研制的宽带精度跟踪系统，跟踪精度可达 $5\mu\text{rad}$ 以内，对下一步研制移动平台激光通信打下了好的基础，具有较好的应用前景。



图 5 移动信标光的捕获与跟踪系统照片 整体硬件图 (APT 系统)

参考文献: [1] 曹阳, 艾勇等, 空间移动平台信标光的地面模拟捕获与跟踪实验, [J]光电子·激光, 2008 19(3):355-358

[2] The TMS320DM642 Video Port Mini2Driver. TI, 2003

[3] 曹阳, 艾勇等, 基于 DM642 的信标光实时图像处理, [J]空间光通信 2007 7:53-55

附: 作者简介:



艾 勇, 男, 中共党员, 1958 年 1 月 17 日生, 1982 年湖北师范学院物理系本科毕业, 1989 年武汉大学物理系光学专业硕士研究生毕业, 1998 年武汉大学空间物理专业博士研究生毕业。现为武汉大学电子信息学院教授, 硕士研究生导师。光电信息工程系书记和科研副主任。中国电子学会高级会员, 中国宇航学会光电技术专业委员会委员, 湖北通信学会光通信专业委员会委员。本科毕业后除研究生学习和出国外一直在高校作教学科研工作。



尚 勇, 男, 1986. 10, 汉族, 湖北人, 本科三年级, 武汉大学电子信息学院 2005 级电子信息工程专业; 2006 年 4 月进入实验室, 接受为期一年半的全国大学生电子设计竞赛培训, 并代表学校参加了 2006 年湖北省大学生电子设计竞赛和 2007 年的全国大学生电子设计竞赛, 获得省二等奖一项。2006 年 12 月和吴钟乐等人以移动平台间信标光捕获与跟踪系统研究为课题申请了国家大学生创新性实验计划; 2007 年 5 月参加湖北省挑战杯并获二等奖。

Email: whushang@yahoo.com.cn



李浩 (1986-), 男, 湖北孝感人, 本科, 主要从事激光通信 APT 系统中图像处理的研究工作。Email: hao9yi@hotmail.com



吴钟乐 (1986-), 男, 武汉大学电子信息学院 2005 级光信息科学与技术专业学生. 2006 年进入武汉大学激光通信实验室, 主要从事图像处理方面的研究. Email: zhongle.w@gmail.com.



周潜 (1988-), 男, 武汉大学电子信息学院 2005 级光信息科学与技术专业学生. 2006 年进入武汉大学激光通信实验室, 主要从事图像处理方面的研究. Email: arfanty2000@126.com.