

# 基于卡尔曼与模糊 PID 的高帧频图像识别跟踪系统\*

黄海波<sup>1,2</sup>, 艾勇<sup>1</sup>, 陈晶<sup>1</sup>, 章勇勤<sup>1</sup>, 左韬<sup>1</sup>, 叶德茂<sup>1</sup>

(1 武汉大学 电子信息学院, 武汉 430079)

(2 湖北汽车工业学院, 湖北 十堰 442002)

**摘要:**针对空间光通信系统对信标光斑实时准确跟踪需求, 设计了基于高帧频相机的精跟踪处理控制平台, 并将图像处理和算法全部集成在大规模现场可编程门阵列芯片内部. 将模糊推理规则与常规比例、积分和微分算法结合, 提高了非线性系统的控制准确度; 将卡尔曼滤波器的预测功能与模糊比例、积分和微分结合起来, 达到对快速倾斜镜的实时超前控制. 现场实验表明, 该系统能有效抑制外界干扰, 实现对光斑弱小目标的准确跟踪, 具有动态响应快、稳定准确度高和抗干扰能力强的特点.

**关键词:** FPGA; 卡尔曼预测; 模糊 PID; 高帧频

**中图分类号:** TN929.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)12-3295-6

## 0 引言

空间光通信中精跟踪机构决定了整个通信系统的跟踪性能, 设计一个高带宽高准确度的精跟踪环是整个捕获、瞄准和跟踪 (Acquisition Pointing Tracking, APT) 系统的关键所在<sup>[1-3]</sup>. 目前的精跟踪系统中普遍采用比例、积分和微分 (Proportional Integral and Derivative, PID) 控制等常规控制算法. 但常规 PID 算法适用于线性系统, 且不能根据实际情况自适应的调整增益系数, 尤其是对精跟踪 APT 这种典型的非线性系统, 会极大地影响系统的控制准确度和稳定性. 因此, 本文使用将经典模糊理论与 PID 算法结合的控制方法, 解决非线性系统的控制准确度问题. 卡尔曼滤波针对线性和非线性问题具有很好的滤波估计效果, 它是以最小均方误差为准则的最佳线性估计, 能较好地应用于各种线性和非线性系统<sup>[4]</sup>. 将卡尔曼滤波和模糊 PID 结合, 达到对快速倾斜镜 (Fast Steering Mirror, FSM) 的实时控制.

目前的目标识别和跟踪系统大多采用以数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 为核心的数据处理和控制系统, 这对于常规帧频的系统是满足的<sup>[5-6]</sup>. 但对于 APT 精跟踪系统中高帧频的光斑目标的捕获与跟踪, DSP 很难满足这种高速实时的处理与控制. 为此, 本文采用高帧频 CMOS 相机, 通过高速 camera-link 传输线, 将视频信号传输至大规模现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate

Array, FPGA) 内部, 在 FPGA 中完成图像处理、模糊 PID 算法和扩展卡尔曼滤波预测, 完成对精跟踪 FSM 的实时控制, 使光束始终位于视轴中心.

## 1 系统的结构与功能设计

如图 1, 系统硬件结构由以下几部分构成: 高帧频 CMOS 相机、camera link 传输线及其接口电路、FPGA 中央处理器及其存储配置电路、双路 DA 输出及电压放大驱动、振镜、USB 接口及 PC 机显示部分.

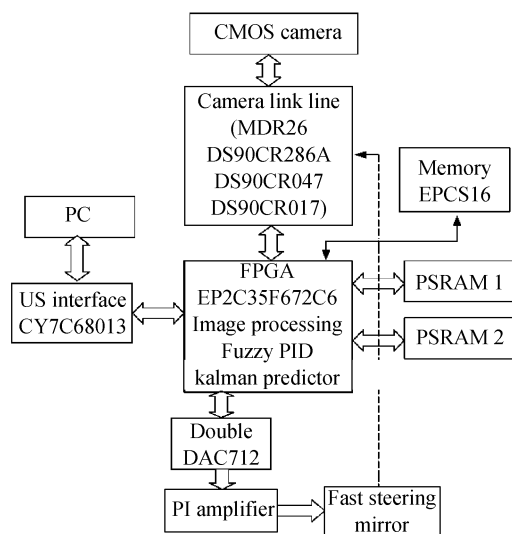


图 1 系统硬件结构

Fig. 1 System hardware structure

### 1.1 高帧频 CMOS 相机

本项目采用 Photonfocus 公司高帧频可开窗 CMOS 相机 MV-D1024E-40. 其主要特性有: 1 024 × 1 024 像素分辨率; 全局快门; 使用 Lin-log 技术, 高达 120 dB 的动态响应范围; 在全分辨率的情况下, 帧频为 37 fps, 128 × 128 窗口下帧频可达 2 000 fps

\* 国家自然科学基金(10477014)资助

Tel: 029-87851454

Email: huang7855@163.com

收稿日期: 2008-12-18

修回日期: 2009-02-19

以上;可设置多个感兴趣区域;数据接口采用 Camera-link 接口;12/8 位可选分辨率,更高的信噪比;内置 LUT 查找表功能.

## 1.2 Camera link 传输线及其接口电路

采用 3M 型号 Camera link 标准传输线,将相机的视频信号实时传输至 FPGA. Camera Link 标准使用每条链路需两根导线的 LVDS 传输技术. 驱动器接收 28 个单端数据信号和 1 个时钟信号,这些信号以 7:1 的比例被串行发送,也就是 5 对 LVDS 信号通道上分别传输 4 组 LVDS 数据流和 1 组 LVDS 时钟信号,即完成 28 位数据的同步传输只需 5 对线,而且在多通道 66 MHz 像素时钟频率下传输距离可达 6 m. 系统中采用 DS90CR286A、DS90CR047

和 DS90CR017 实现 camera link 接口电路的设计.

## 1.3 FPGA 中央处理器及其存储配置电路

通过 camera link 接口电路将像素时钟 CLK、行有效 LVAL、帧有效 FVAL、数据有效 DVAL、图像数据 DATA 送入 FPGA. FPGA 中程序采用 Verilog 语言设计,在 Quartus II 7.0 环境中编程和配置,设计成功后下载在 cyclone II 系列 EP2C35F672C6 中运行. 如图 2, FPGA 内部共有 15 个模块,各自完成特定的功能. 下面对主要的功能模块进行详细介绍,其他模块也给予必要的说明. 设计时充分利用 altera 公司提供的乘法器、除法器、ROM、RAM 等宏功能 IP 核,并对一些模块做一些简化处理,以便于程序实现.

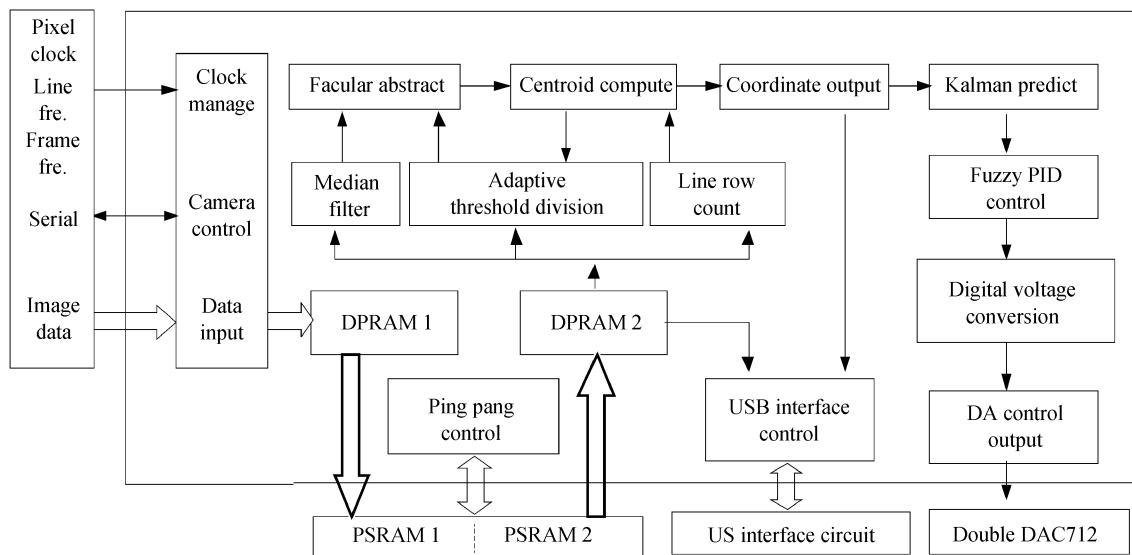


图 2 FPGA 内部模块

Fig. 2 Functional module inside FPGA

1) Camera link 接口 (Camera link interface): camera link 接口模块包含时钟管理、相机控制和数据输入三部分. 时钟管理部分接收像素时钟 CLK、行有效 LVAL、帧有效 FVAL,并对 40 MHz 的时钟进行倍频和分频,分配给其他模块使用.

相机控制部分主要完成曝光时间、帧频、增益倍数以及开窗大小等相机参数的实时设置. 主要包含完成 RS232 通信协议的 UART 内核、移位寄存器、波特率发生器、信号检测、计数器、总线选择器、奇偶校验等.

数据输入部分在 FVAL、LVAL 和 DVAL 的控制下,读取有效的 8 bit 灰度图像数据 DATA,并将其送入 DPRAM1 中进行缓存.

2) DPRAM1/DPRAM2/PSRAM/乒乓读写控制 (Ping pang control): 由这三部分以及外部 PSRAM 芯片构成图像数据的缓冲. 要实现对特定的点像素、区域像素和满帧像素的实时处理,必须对图像数据进行缓冲. 采用 8 片高速低功耗 16 bit

PSRAM 芯片 HY64UD16322A 作为数据存储器件. 其中每 4 片作为一组,共用相同的地址、片选、使能及读写信号,数据线串联,分别构成 PSRAM1 和 PSRAM2. 因此,双口 RAM DPRAM1 设置为输入 8 bit 数据宽度,输出 64 bit 宽度;双口 RAM DPRAM2 设置为输入 64 bit 数据宽度,输出 8 bit 宽度. 在乒乓读写控制器中,通过分时控制两组 PSRAM,达到对片内数据的乒乓读写操作.

3) 中值滤波 (Median filter): 中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术. 但由于在空间中的目标有信噪比很低,所占像素数很少,普通的中值滤波方法会使目标强度降低或直接使小目标被滤除. 所以我们采用基于  $3 \times 3$  像素模板的最大中值滤波,在去除噪声的同时,最大限度的保留弱小目标的信息.

4) 自适应阈值分割 (Adaptive threshold division): 由于系统采用高帧频的 CMOS 相机,曝光时间很短,帧与帧之间的相关性很强. 为了便于计

算,采用如下的阈值分割:以前一帧中的光斑质心为中心,分别在  $x$ 、 $y$  方向上选取 4 小块  $9 \times 9$  的背景区域,计算目标光斑的自适应分割阈值,作为当前获取图像光斑的像素比较灰度值。

5) 行列计数(Line row count):对像素的行和列进行计数,为质心计算模块提供像素的行列信息,并保存行列值直到质心计算模块计算完毕为止。

6) 光斑目标提取(Facular abstract):用来判断 CMOS 相机所开窗口内是否有光斑。如果连续 20 帧没有检测到光斑出现,则通知精跟踪系统没有捕获到光斑,重新捕获光斑。如果有光斑,则计算光斑所占的像素数,并将光斑的灰度值保存起来,以供质心计算模块使用。这里借用中值滤波的方法,设置 9 个像素的滑动窗口,将滑动窗口内的每一个像素与自适应阈值进行比较,若窗口内有 3 个或 3 个以上的像素灰度值大于阈值,则认为滑动窗口中心像素是光斑像素。这样可有效的避免将相机的亮坏点误判为光斑,大大地降低虚警概率。

7) 质心计算(Centroid compute)/坐标输出(Coordinate output):该模块从上述模块中获取像素灰度值、自适应阈值和像素行列值,按照下式计算光斑的质心。在程序设计时,直接调用 QUARTUSII 中集成的乘法器和除法器 IP 核,计算效率很高。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i_b}^{i_e} \sum_{j_b}^{j_e} i (f_{ij} - T)}{\sum_{i_b}^{i_e} \sum_{j_b}^{j_e} (f_{ij} - T)} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i_b}^{i_e} \sum_{j_b}^{j_e} j (f_{ij} - T)}{\sum_{i_b}^{i_e} \sum_{j_b}^{j_e} (f_{ij} - T)} \quad (1)$$

式中,  $i_b$  和  $i_e$  分别是光斑像素的行计数最小值和最大值,  $j_b$  和  $j_e$  分别是光斑像素的列计数最小值和最大值;  $T$  是自适应阈值;  $f_{ij}$  是光斑像素的灰度值;  $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  即为所求的光斑质心坐标。计算出的坐标通过坐标输出模块,一路送至 USB 接口控制器通过由 CY7C68013 构成的 USB 接口电路送入 PC 机实时显示,另一路送至卡尔曼预测进行相应的处理。

8) 其他模块:由于卡尔曼预测(Kalman predict)和模糊 PID 控制(Fuzzy PID control)是本系统的核心和难点,特专门放在第 2 节中进行设计说明。数字电压转换模块主要完成把数字量转换成对应的数字电压输出。DA 控制模块完成对两路 DA 芯片 DAC712 的读写控制作用。

## 2 卡尔曼预测和模糊 PID 控制

为提高系统的控制准确度,并达到对 FSM 的准确实时控制,采用卡尔曼滤波配合模糊 PID 控制,将当前获得的坐标数据送入卡尔曼滤波器进行

滤波,得到下一帧光斑坐标的最优预测值。将得到的预测估计值送入模糊 PID 控制器,达到对 FSM 振荡的实时准确控制。

### 2.1 卡尔曼预测

光斑质心在  $X$ 、 $Y$  轴上的运动可看作是随机变速而被扰动的直线运动,速度  $V$  是服从正态分布  $N(0, \sigma_v^2)$  的随机量。令目标状态向量

$$\mathbf{X}(k) = [x(k), y(k), x'(k), y'(k)]^T \quad (2)$$

式中  $x(k)$ 、 $y(k)$  分别是光斑质心在  $X$ 、 $Y$  轴上的坐标,  $x'(k)$ 、 $y'(k)$  分别是在  $X$ 、 $Y$  轴上的速度。令观测向量

$$\mathbf{Y}(k) = [x_c(k), y_c(k)]^T \quad (3)$$

式中  $x_c(k)$ 、 $y_c(k)$  分别是光斑中心在  $X$ 、 $Y$  轴上的观测值。此时扩展卡尔曼滤波器的两个模型为

$$\text{状态模型: } \mathbf{X}(k) = \mathbf{A}(k-1)\mathbf{X}(k-1) + \mathbf{W}(k) \quad (4)$$

$$\text{观测模型: } \mathbf{Y}(k) = \mathbf{C}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{V}(k) \quad (5)$$

式中  $\mathbf{A}(k)$  是系统矩阵,  $\mathbf{C}(k)$  是观测矩阵,  $\mathbf{W}(k)$  为系统噪声矩阵,  $\mathbf{V}(k)$  观测噪声矩阵。将式(4)和(5)展开得到

$$\begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ x'(k) \\ y'(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k-1) \\ y(k-1) \\ x'(k-1) \\ y'(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_x(k-1) \\ \omega_y(k-1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x_c(k) \\ y_c(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k-1) \\ y(k-1) \\ x'(k-1) \\ y'(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_x(k) \\ v_y(k) \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中  $\omega_x(k-1)$  和  $\omega_y(k-1)$  为零均值的白噪声,其方差分别为  $\sigma_{\omega_x}^2$  和  $\sigma_{\omega_y}^2$ 。  $v_x(k)$  和  $v_y(k)$  也是零均值的白噪声,其方差分别为  $\sigma_{v_x}^2$  和  $\sigma_{v_y}^2$ 。  $\mathbf{X}(-1) = [x_0, y_0, 0, 0]^T$ ,  $x_0, y_0$  表示起始帧的中心坐标,在本系统里即为精跟踪视轴的中心坐标,  $T$  为帧间间隔时间。

卡尔曼递归预测方程为

$$\hat{\mathbf{S}}_k(k+1) = \mathbf{A} \hat{\mathbf{S}}_{k-1}(k) + \mathbf{H}(k)[\mathbf{X}(k) - \mathbf{C} \hat{\mathbf{S}}_{k-1}(k)] \quad (8)$$

预测修正系数为

$$\mathbf{H}(k) = \mathbf{A} \mathbf{P}_{k-1}(k) \mathbf{C}^T [\mathbf{C} \mathbf{P}_{k-1}(k) \mathbf{C}^T + \mathbf{R}(k)]^{-1} \quad (9)$$

预测均方误差为

$$\mathbf{P}_n(k+1) = [\mathbf{A} - \mathbf{H}(k)\mathbf{C}] \mathbf{P}_{k-1}(k) \mathbf{A}^T + \mathbf{Q}(k) \quad (10)$$

式中  $\mathbf{R}(k)$  为观测噪声协方差矩阵,  $\mathbf{Q}(k)$  为系统噪声协方差矩阵.

$$\mathbf{R}(k) = \mathbf{E}(\mathbf{V}(k)\mathbf{V}^T(k)) = \begin{bmatrix} \sigma_{ur}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{vy}^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{Q}(k) = \mathbf{E}(w(k)w^T(k)) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{ux}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{uy}^2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

得到这些参量,并根据系统的初始估计值  $\hat{\mathbf{S}}(k)$  和初始均方误差矩阵  $\mathbf{P}(k)$ ,就可以通过卡尔曼预测方程循环预测出下一帧光斑质心坐标.

## 2.2 模糊 PID 控制

将模糊控制与常规 PID 结合,设计一种模糊 PID 自适应控制器,以误差  $e$  和误差变化  $ec$  作为输入,实时对 PID 参量进行自适应调整,输出控制电压  $u$ . 如图 3,主要由参量可调整的 PID 调节器和控制规则学习的模糊推理两部分组成. 图中实线部分即为所要设计的模糊 PID 控制器,输入  $r$  为设定的视轴中心坐标,与卡尔曼预测的输出相减得到偏差  $e$ ,数字微分后得到  $ec$ .

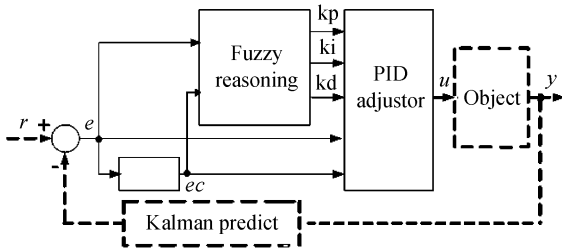


图 3 模糊 PID 控制结构

Fig. 3 Fuzzy PID control structure

由于在实际控制过程中,变量 ( $e$ 、 $ec$  和  $u$ ) 的值域是不对称的,设  $e$ 、 $ec$  和  $u$  的变化范围为  $[e_{\min}, e_{\max}]$ 、 $[ec_{\min}, ec_{\max}]$  及  $[u_{\min}, u_{\max}]$ ,其归一化模糊论域为  $[-1, 1]$ .

表 1 控制规则表

$e \backslash ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

则论域正则化变换公式为

$$E = k_e \left( e - \frac{e_{\max} + e_{\min}}{2} \right) \quad k_e = \frac{2}{e_{\max} - e_{\min}}$$

$$EC = k_{ec} \left( ec - \frac{ec_{\max} + ec_{\min}}{2} \right) \quad k_{ec} = \frac{2}{ec_{\max} - ec_{\min}}$$

$$U = k_u \left( u - \frac{u_{\max} + u_{\min}}{2} \right) \quad k_u = \frac{2}{u_{\max} - u_{\min}} \quad (13)$$

式中  $E$ 、 $EC$  和  $U$  分别是  $e$ 、 $ec$  和  $u$  的模糊语言变量,  $k_e$ 、 $k_{ec}$  是输入变量量化因子,  $k_u$  是输出变量量化因子. 在实际系统中,随着 CMOS 开窗的大小,  $e$  和  $ec$  的取值范围做出相应的变化. 因为伺服 PI 放大器的输入电压范围是 0 到 10 伏,因此控制输出  $u$  的范围是  $[0, 10]$  V.  $E$ 、 $EC$  和  $U$  均采用相同的模糊子集  $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ ,其隶属函数采用对称、均匀分布、全交迭的三角形形式. 应用常规模糊条件和模糊关系 IF  $A_i$  and  $B_i$  THEN  $C_i$  形式建立如表 1 的模糊规则表. 根据 Mamdani 的 min-max 推理法则<sup>[7]</sup>,得到采用加权平均解模糊化的模糊控制输出为

$$U = \frac{\sum_i \mu_{C_i}(U_i) \cdot C_i}{\sum_i \mu_{C_i}(U_i)} \quad (14)$$

因此,实际的控制电压输出为

$$u(k) = k_u(k)U + (u_{\max} + u_{\min})/2 \quad (15)$$

## 3 实验测试与分析

2008 年 11 月,本文在北京延庆八达岭至河北怀来相距 16.7 km 的两地,进行了传输速率为 1.25 Gbps 的空间激光通信实验. 由于大气湍流的影响,信标激光经长距离大气传输后达到角起伏明显,接收端显示器上看到光斑持续随机抖动. 湍流强时抖动剧烈,极大影响光纤耦合接收效率,需要采用精跟踪技术抑制大气扰动带来的光斑抖动. 首先通过自制的粗跟踪系统将信标光引入精跟踪视场<sup>[8-9]</sup>,启动精跟踪进行识别跟踪. 高帧频 CMOS 相机开窗大小为  $256 \times 256$ ,帧频设置为 200 Hz. 通过灵活的屏蔽和开启 FPGA 内部相应的功能模块,分别进行了如下的实验,用光功率计测量,并以电压形式在 LABVIEW 中采集,得到图 4 的曲线图. 图 4(a)为只有粗跟踪没有精跟踪,功率信号很弱,只有当信标光在精跟踪视场晃动瞬间,光功率才增强,完全不能正常通信. 图 4(b)、图 4(c)和图 4(d)为启动精跟踪系统. 其中图 4(b)为常规 PID 控制,图 4(c)为模糊 PID 控制,图 4(d)为卡尔曼加模糊 PID 控制. 可见光功率依次增强,图 4(d)中电压信号基本集中在 1~3 V 之间,能量相当集中,此时通信效果很好,可在接收端完全复现发送端的 8 路视频信号,画面流畅无闪烁.

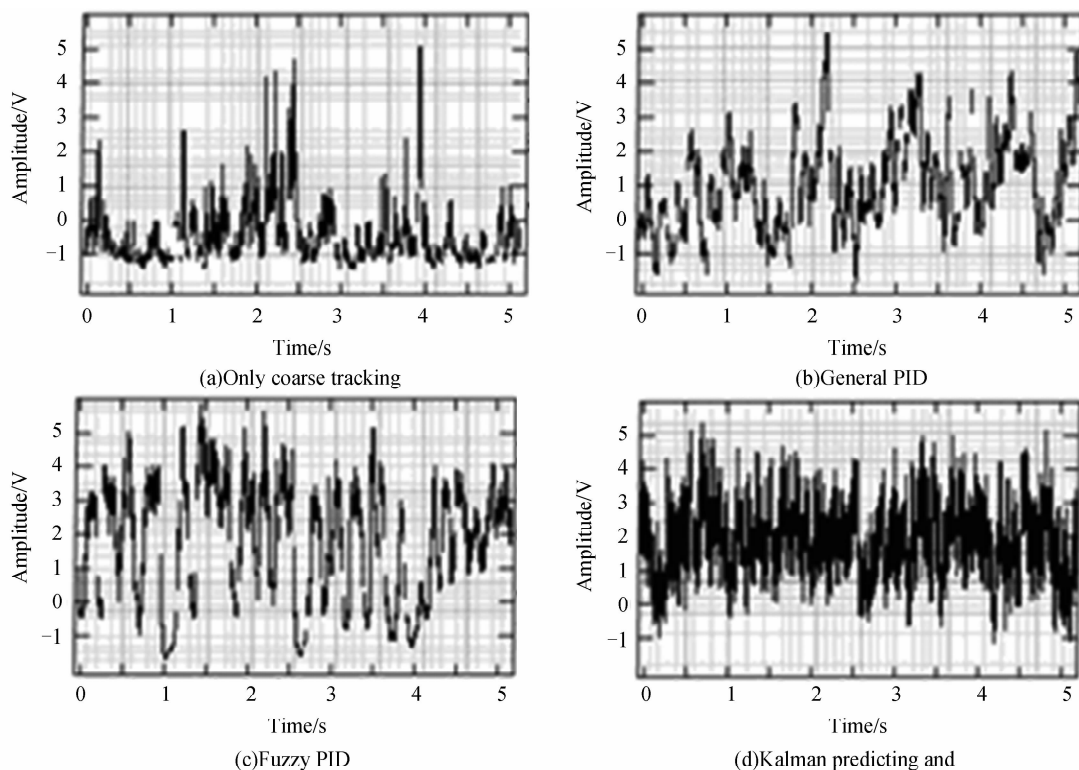


图 4 LABVIEW 光功率采集

Fig. 4 LABVIEW diagram for light power

## 4 结论

本文论述了基于高帧频 CMOS 相机的精跟踪硬件系统设计,并将图像处理、卡尔曼预测结合模糊 PID 控制集成于单片超大规模 FPGA 芯片中. 系统集成度高,成本低,抗干扰能力强,并在现场实验中得到测试和应用,稳定准确度高,具有较强的理论和应用价值. 后期的任务是,做好精跟踪与粗跟踪系统的耦合,达到在跟踪过程中的实时切换和配合. 建立空间光通信系统的非线性模型,尝试采用其他非线性控制策略,并将其实现于 FPGA 中,进一步提高系统的稳定性和鲁棒性.

### 参考文献

- [1] JOSEPH M K. Secure free-space optical communication between moving platforms [J]. *Lasers and Electro-Optics Society*, 2002, **2**: 455-456.
- [2] GERARDO G, ORTIZ S, LEE S, *et al.* Design and development of a robust ATP subsystem for the Altair UAV-to-ground lasercomm 2.5 Gbps demonstration [C]. *SPIE*, 2003, **4975**: 103-115.
- [3] COLE M, KIASALEH K. Signal intensity estimators for free-space optical communications through turbulent atmosphere [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2004, **16**(10): 2395-2397.
- [4] CAGLAR Y, PETER G, HODGKISS, W S. Tracking

refractivity from clutter using kalman and particle filters[J]. *IEEE Transactions on Antennas And Propagation*, 2008, **56** (4): 103-115.

- [5] BATUR A U, FLINCHBAUGH B E, HAYES M H. A dsp-based approach for the implementation of face recognition algorithms [C]. *IEEE International Conference on ASSP Proceedings*, 2003, **2**: 253-256.
- [6] GALANIS M D, PAPAACHARIAS A, ZIGOURIS E. A DSP course for real-time systems design and implementation based on the TMS320C6211 DSK [C]. *14th International Conference on Digital Signal Processing*, 2002, **2**(7): 853-856.
- [7] XUE Ding-yu. Computer aided control system design using MATLAB language [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.  
薛定宇. 控制系统计算机辅助设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [8] YE De-mao, AI Yong, CAO Yang, *et al.* A beacon tracking system based on DSP technology [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(10): 2128-2131.  
叶德茂, 艾勇, 曹阳, 等. 一种基于 DSP 技术的信标光跟踪系统研究 [J]. *光子学报*, 2008, **37**(10): 2128-2131.
- [9] ZHOU Ya-lin, AI Yong, ZUO Tao, *et al.* Experimentation of real-time acquisition and tracking of free space laser beam and the analysis of the result [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34** (6): 943-947.  
周亚霖, 艾勇, 左韬, 等. 空间光束实时捕获、跟踪实验与分析 [J]. *光子学报*, 2005, **34**(6): 943-947.

## Image Recognition and Tracking System for High Frame Frequency Object Based on Kalman Predictor and Fuzzy PID Technology

HUANG Hai-bo<sup>1,2</sup>, AI Yong<sup>1</sup>, CHEN Jing<sup>1</sup>, ZHANG Yong-qin<sup>1</sup>, ZUO Tao<sup>1</sup>, YE De-mao<sup>1</sup>

(1 College of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

(2 Dept of Electronics and Information Science, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan, Hubei 442002, China)

**Abstract:** In order to track with the beacon facular real time and high precisely for fine tracking system in space light communication, a suit of fine tracking control flat based on high frame frequency CMOS camera is designed, and image processing and control algorithms are all integrated into the large scale FPGA chip. Fuzzy reasoning rules are combined with general PID algorithm, which improve the control precision of nonlinear system. Kalman predictor is combined with fuzzy PID algorithm, which realizes real-time and forward control for FSM. Field experiment result shows that the system is capable of restraining outside disturbance, realizing exact tracking facular weak object, and it has the characteristics of high-speed response, high-precision stability and powerful ability of anti-jamming.

**Key words:** FPGA; Kalman predict; Fuzzy PID; High frame frequency



**HUANG Hai-bo** was born in 1974. He received his M. S. degree from Wuhan University in 2003. Now he is a Ph. D. degree candidate at Wuhan University, and his research interests focus on object recognition and tracking, and information fusion and processing.