

一种适用于星敏感器的星点提取方法

李德良^{1,2}, 阮 锦¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:介绍了一种用于星敏感器数字图像处理系统的星点提取方法:首先简要介绍了基于 DSP TMS320F206 和 CPLD 1048C 的电路设计,然后主要介绍了 DSP 对数字图像进行阈值分割、连通性分析和内插细分定位处理并最终得到星点的坐标信息。同时,还提出了一种改进的连通性分析算法。最后,在完成星敏感器样机的设计后进行了试验,试验结果表明,改进后的连通性分析算法能够提高图像处理的效率,同时也表明本文采用的星点提取方法具有较高的精度。

关键词:星敏感器;数字图像处理;数字信号处理器;可编程逻辑控制器

中图分类号:TP752.1

文献标识码:A

Method adapting to the star sensor's star extraction

LI De-liang^{1,2}, RUAN Jin¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The article introduced a way to accomplish the star sensor's star extraction. First we designed the circuit system based on the DSP TMS320F206 and CPLD 1048C. Then mainly introduced the digital image processing, which included the threshold method, connectivity analysis and the interpolation algorithm. At mean time, another improved connectivity analysis was introduced. In the end, with finishing the starsensor sample, we did a lot simulate experiments. The results proved that the new connectivity analysis method could improve the digital image proccession efficiently and the star extraction method had high accuracy.

Key words: star sensor; digital image proccession; DSP; CPLD

1 引 言

随着航空航天技术的发展,星敏感器作为一种高精度的姿态测量设备被越来越广泛地应用到卫星等航天器中。星敏感器主要由光学系统、图像传感器电路以及数字图像处理系统构成。如图1所示。

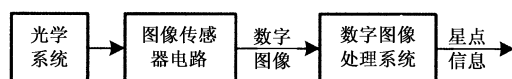


图1 星敏感器的组成示意图

它的工作原理是,CCD 图像传感器通过光学系统拍摄当前视场范围内的星空图像,然后在图像传感电路中经过降噪处理(相关双采样)、A/D 转换等处理后输出数字图像,再由数字图像处理系统读取

数字图像并进行阈值分割、关联性分析及内插细分定位等处理后完成星点提取(即得到星点的坐标位置),最后将得到的有效星点信息传输给计算机,由计算机完成星图匹配并计算出三轴姿态。

在数字图像处理系统对数字图像进行处理以完成星点提取,是星敏感器设计中的一项重要的基础性工作。它对提高图像处理的效率乃至提高星敏感器的测量精度都起着重要的作用。本文针对实际工程需求,完成了基于 DSP 和 CPLD 的数字图像处

作者简介:李德良(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理。E-mail: samyang21@163.com

收稿日期:2009-07-31

理系统的硬件和相应数字图像处理软件的设计,同时还提出了一种改进的连通性分析算法,最后进行了测试试验。

2 硬件电路设计

2.1 硬件电路与工作原理

在具体设计方案中,数据图像处理电路主要由数字信号处理器、星像存储器、地址发生器、锁存器、RS485 串口组成。其中,数字信号处理器采用 TI 公司的 TMS320F206(以下简称 F206),星像存储器采用 2 片 512 K $\times$ 8 的静态存储器 SRAM KM684000,地址发生器和锁存器采用 LATTICE 公司的 1048C 编程实现。整个硬件电路系统设计如图 2 所示。

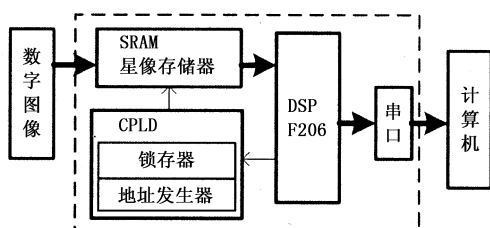


图2 星敏感器系统的硬件组成

图像处理电路系统的工作原理是:由图像传感器电路输出的 12 位 500 $\times$ 658 的数字图像,通过同步串口传输到图像处理电路中,首先由地址发生器产生的地址将图像数据存储在星像存储器中;然后由 DSP F206 从星像存储器中读取图像数据并对其进行阈值分割、连通性分析和内插细分定位后,得到了星点的有效坐标信息并保存,由此完成了对图像的星点提取工作。最后,将保存的星点的坐标信息通过 RS485 串口传送给计算机。

3 DSP 图像处理算法原理

在对数字图像进行星点提取时,首先采用全局阈值方法将星体目标和背景分离。然后接着进行连通性分析:建立星点目标的外接矩形,在剔除星点噪声后得到了星点目标的有效坐标信息。最后,采用基于灰度的矩心算法求得星点的坐标位置,完成星点提取。下面分别介绍连通性分析算法和内插细分定位算法。

3.1 连通性分析算法

经过阈值分割,将目标与背景分离后产生二值化图像,然后在此基础上再进行连通性分析。这一过程要对图像扫描两次:第一次扫描原始图像产生并存储二值化图像;第二次对所存储的二值化图像进行扫描、分析以确定目标外接矩形的大小。在一般情况下,视场的平均观测星的数目为 10,要完成对一帧图像的处理,这种方法需要很长的时间,不能

够在一帧的时间内将数据处理完毕,这显然会降低图像处理的效率。

因此,我们提出了一种改进的连通性分析算法:灰度图像经过阈值扫描处理后,不存储二值图像,而只存储大于阈值的像元点坐标,然后分析坐标之间的关系:

首先进行行内分析,属于同一个目标的像元的 Y 坐标相等,X 坐标相邻,这样确定了图像中每一行的各个有效目标。

其次进行行间分析,行相邻而且满足四连通判断的“目标”构成一个有效的“窗口”。

这样,最终建立了由“目标”星点的“窗口”所构成的有效星点的外接矩形,如图 3 所示。最后保存这些外接矩形的坐标信息,完成了连通性分析。

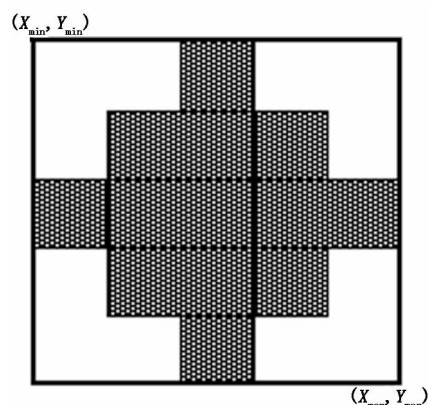


图3 目标外接矩形坐标示意图

3.2 内插细分定位算法^[3-4]

为了从星图中获得更高的星体位置定位精度,常采用离焦(弥散)的方式^[3],使恒星在 CCD 的感光面上的成像点扩散到较多的像素上。实验表明,当弥散圆的在 3 $\times$ 3 像元时,可以达到很理想的细分定位精度。

星敏感器以恒星为观测目标。恒星可以看作无穷远处具有一定光谱特性的点光源,在图像传感器的感光面上成像为分布在较暗背景上的点状光斑^[3]。点状光斑目标的细分定位方法可以分为基于灰度和基于边缘的两大类,一般而言,基于灰度的方法比较适用于较小的且灰度分布均匀的目标,而基于边缘的方法则适合较大的目标,它对灰度的分布不太敏感。实际观测星图中星体目标的直径一般为 3~5 个像元的大小,且灰度近似成高斯分布^[3]。因此,根据星体的特点,我们采用了基于灰度方法的矩心法作为求星点坐标信息的方法^[4]。这里给出矩心算法的数学表达式^[4]:

$$E_{xy} = \begin{cases} A_{xy} - V_{th} & (A_{xy} > V_{th}) \\ 0 & (A_{xy} \leq V_{th}) \end{cases} \tag{1}$$

$$x_c = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n x E_{xy}}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n E_{xy}} \tag{2}$$

$$y_c = \frac{\sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m y E_{xy}}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n E_{xy}} \tag{3}$$

其中, V_{th} 为星图阈值; A_{xy} 是像元灰度值; x, y 为像元信号的横纵坐标(单位: 像元); x_c, y_c 为星点信号矩形横纵坐标(单位: 像元); (x_c, y_c) 代表了星点信号经过内插细分后所得到的精确定位位置。

4 试验结果与分析

目前, 我们已经完成了整个星敏感器样机的研制, 采用发光二极管在平行光管中成像来模拟产生星图进行测试。所拍摄的模拟星图如图 4 所示。

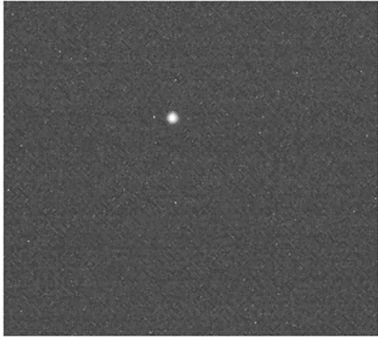


图 4 平行光管模拟星图

首先, 测试改进后的连通性分析算法处理图像的速度, 为了便于比较, 分别采用两种连通性算法处理同样一幅数字图像。结果显示, 这两种方法所建立的星点的外接矩形坐标与实际图像完全吻合, 但改进后的算法处理时间为 0.5 ms, 而通常的算法处理需要 1.9 ms, 这表明改进后的算法能够提高数字图像处理系统的图像处理效率。

然后进行星点提取, 在实验室室温为 20 ℃ 的情况下, 为了同时检测图像处理结果的精度, 我们对同一幅星图进行星点坐标提取, 在 2 h 内对图像重复处理 20 次, 最后得到模拟星点的坐标信息请如表 1 所示(其中 x, y 为计算所得的星点矩形坐标), 并计算出横纵坐标的均方差分别为 0.010445 和 0.023212, 数据表明本文介绍的星点提取方法能够精确地求出星点的坐标位置, 同时, 该数据也满足星敏感器设计的稳定性要求。

表 1 模拟星点的坐标信息测试数据统计

序号	X(像元)	Y(像元)
1	435.0156	233.9219
2	435.0156	233.9063
3	435.0234	233.9453
4	435.0156	233.8906
5	435.0078	233.9063
6	435.0156	233.9219
7	435.0078	233.9219
8	435.0000	233.9297
9	435.0000	233.9453
10	434.9922	233.9219
11	434.9922	233.9219
12	434.9922	233.9219
13	434.9922	233.9297
14	434.9922	233.9375
15	434.9844	233.9375
16	435.0000	233.9531
17	434.9922	233.9531
18	435.0000	233.9766
19	435.0000	233.9766
20	435.0000	233.9766
平均值	435.0020	233.9348
均方差	0.010445	0.023212

5 结束语

综上所述, 本文以 DSP F206 和 CPLD 1048C 为硬件基础, 在图像处理过程中, 相继采用了全局阈值法、连通性分析和内插细分算法对输入的数字图像进行处理, 最后得到了星点的坐标信息。同时, 还改进 DSP 的连通性分析算法过程。最后, 试验表明, 改进后的连通性算法能够提高图像处理的效率, 而且, 本文提出的星点提取方法精度高。另外, 随着星敏感器技术的不断进步, 星敏感器的研制也朝着更高精度方向发展, 因此, 本文设计还具有较强的实用性。

参考文献:

[1] 张芳兰. TMS320C2XX 用户指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.

[2] 何苏勤, 王忠勇. TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

[3] 魏新国, 张光军, 江洁. 星敏感器中星图图像的星体细分定位方法的研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 29(9): 812-815.

[4] 王一凡. 用于星敏感器的星点提取算法[J]. 控制工程, 1995, 2: 13-16.

[5] 陈云治, 保延翔. CPLD 应用技术与数字系统设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.