

DSP 图像处理技术在空间瞬态光辐射定位探测中的应用

王 华^{1,2} 汶德胜¹

(1 中科院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 在分析空间瞬态光辐射信号成像特点的基础上, 提出了一种在空间瞬态光辐射信号定位系统中, 用高速浮点 DSP 芯片实现图像处理的方案. 图像处理过程为: 首先通过阈值分割滤除背景和弱噪音; 然后根据目标信号的时空连续性进行目标识别以去除强噪音; 最后对识别出的目标像点进行重心位置的提取. 实验表明, 该硬件图像处理方案具有高的实时处理性和定位准确性, 可以很好的满足系统要求.

关键词 瞬态光信号; DSP; 阈值; 目标识别; 重心

中图分类号 TN253; TN248

文献标识码 A

0 引言

空间瞬态光辐射信号定位系统是闪电等星载空间瞬态光辐射信号探测系统的重要组成部分. 空间瞬态光辐射信号定位系统的工作原理是: 用 CCD 图像传感器拍摄视场范围内的图像, 利用图像处理技术提取目标像点的重心位置, 最后由目标像点的重心位置根据卫星姿态和位置参量, 计算出空间瞬态光辐射信号发生地的地表坐标(经度和纬度). 其中, 对 CCD 输出的原始图像进行处理进而提取目标像点的重心位置是空间瞬态光辐射信号定位系统中的一项关键技术, 它关系到整个系统的定位准确度和定位速度.

图像处理和目标像点的提取, 通常多采用软件处理方法, 但软件处理受计算机配置限制, 难以满足实时性要求^[1]. 随着数字信号处理技术的发展, 尤其是数字信号处理芯片 DSP 的出现, 用硬件进行图像处理及目标像点位置的提取变得切实可行, 并且用 DSP 进行图像数据的处理具有准确度高、速度快等优点. 本文正是根据空间瞬态光辐射信号的成像特点, 采用 TI 公司的高速 32 位浮点 DSP 芯片 TMS320C32(以下简称 C32)进行快速图像处理从而获得目标信号的重心位置.

1 空间瞬态光辐射信号的成像特点

空间瞬态光辐射信号的成像在像点大小、像素灰度值及像点持续时间等方面具有以下特点:

1) 由于搭载空间瞬态光辐射信号定位系统的卫星运行在较高的卫星轨道上, 所以定位系统中的 CCD 成像系统是一个将物缩小率极大的系统. 即使闪电等空间瞬态光辐射信号的直径可能为几米、几十米甚至几百米, 它在 CCD 探测器感光面上像的

大小仍然只占很少的像元.

2) 空间瞬态光辐射信号具有很高的辐射通量($10^9 \text{ W} \sim 10^{14} \text{ W}$), 它成像在 CCD 像面上的像点灰度值远高于背景和弱噪音(弱闪光信号)的灰度值.

3) 对于一定帧频的 CCD 相机, 空间瞬态光辐射信号的持续时间较长, 像点信息分布在 CCD 摄取的多帧序列图像中. 而且当一次目标事件发生时, 空间瞬态光辐射信号的直径在不同时间可能会改变(扩散或缩小), 所以成像在 CCD 上的目标像点也会相应地扩散或缩小, 但是这种像点的扩散或缩小在序列图像中具有一定的连续性.

2 图像预处理

由成像特点 1) 可知, 空间瞬态光辐射信号成像在 CCD 探测器的像点很小, 如果直接对该像点进行识别处理, 将不利于定位分辨率的提高. 因此, 本定位系统的 CCD 光学系统采用离焦(弥散)方式, 使空间瞬态光辐射信号点光源经 CCD 成像后扩散到邻近的多像元区域, 以提高定位分辨率并且便于后续的图像数据处理.

根据空间瞬态光辐射信号的 2)、3) 两个成像特点, 用 DSP 对弥散后的包含多个像素的目标数据进行预处理的过程可以分为两个阶段: 阈值分割和目标识别.

2.1 阈值分割

阈值分割是一种广泛使用的图像分割方法, 它利用图像中所要提取目标与背景的灰度差异, 把图像视为不同灰度级的区域组合, 通过选取阈值, 将目标区域从背景中分离出来. 设原始图像为 $f(x, y)$, 选取的阈值为 T , 则阈值分割后的图像可定义为^[2]

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$

由于空间瞬态光辐射信号的像点灰度值远高于背景和弱噪音的灰度值, 所以用一个全局阈值即可将目标和背景分离开. 系统中用 DSP 设定阈值, 并

设计相应位宽的数值比较器,将 CCD 输出的数字化后的像素灰度值送到该数值比较器,与阈值进行比较. 如果像素灰度值大于(或等于)设定的阈值,则认为该像元数据可能为目标信号的数据,将其灰度值及位置信息(X、Y 坐标)存入双口 RAM 中;否则,则认为是背景或者弱噪音,将数据舍弃不予存储. 其硬件原理如图 1.

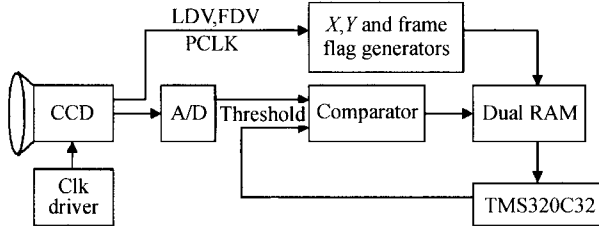


图 1 硬件原理框图
Fig. 1 The block diagram of hardware

经过阈值比较,不但可以将可能的目标数据从背景及弱噪音中分离出来,而且在硬件上可以大大减少数据的存储量,简化后续的数据处理和分析,提高 DSP 的处理速度. 比如,本系统采用 1024×1024 的面阵 CCD 探测器, A/D 量化位数为 10bit, 每个像素所要存储的信息共 32bit(灰度值、帧标志位及 X、Y 坐标), 如果直接将 CCD 摄取的图像进行存储, 则仅存储一帧图像数据就需要 $1M \times 32bit$ 的存储器; 如果经阈值比较后再进行存储, 则一帧图像所需存储的像点个数只有几个到几十个, 即使存储多帧数据对存储器容量的要求也不会太高. 本系统设计时, 选取存储容量为 $16k \times 32bit$ 的双口 RAM 存

储器, DSP 分配的存储地址为 $890000h \sim 893fffh$.

2.2 目标识别

阈值分割实现了目标数据与背景及弱噪音的初步分离, 但存储在双口 RAM 中的数据仍可能存在一些强噪音(地面偶尔出现的强闪光信号)数据. 所以在 DSP 计算目标像点的重心位置之前, 需要对双口 RAM 中的数据进行进一步分离, 将目标数据从强噪音点中识别出来.

由于大多数的噪音点在时空空间中的出现是随机的, 不具有连续性^[3]; 而空间瞬态光辐射信号的光斑虽然在多帧序列图像中会扩散或缩小, 但其具有连续性. 因此, 设计时根据强噪音点在某一位置及其邻域范围内仅可能持续一帧图像的时间, 而目标信号则会在某一位置及其邻域范围内持续多帧图像的准则, 进行目标识别. 具体的设计思路如下:

1) 首先按照一定的邻域规则(3×3 或 5×5), 比较第一帧和第二帧的数据, 将两帧中均包含的数据保留并存储; 2) 将 1) 中比较后存储的数据作为样本, 与后续帧的数据比较, 若后续帧的数据在这些样本数据的邻域内则认为是目标数据, 保留并存储, 否则认为是强噪音数据则舍弃.

根据上面的思路, 选择 3×3 的邻域范围, 设计 C32 的汇编程序流程如图 2(a)、(b). 图中 d_{xx} 表示某帧的某个数据, 其中下标的第一个 x 表示第几帧, 第二个 x 表示该帧的某个数据; d_{ix} 表示为样本数据; 步骤 3) 是指计算重心坐标.

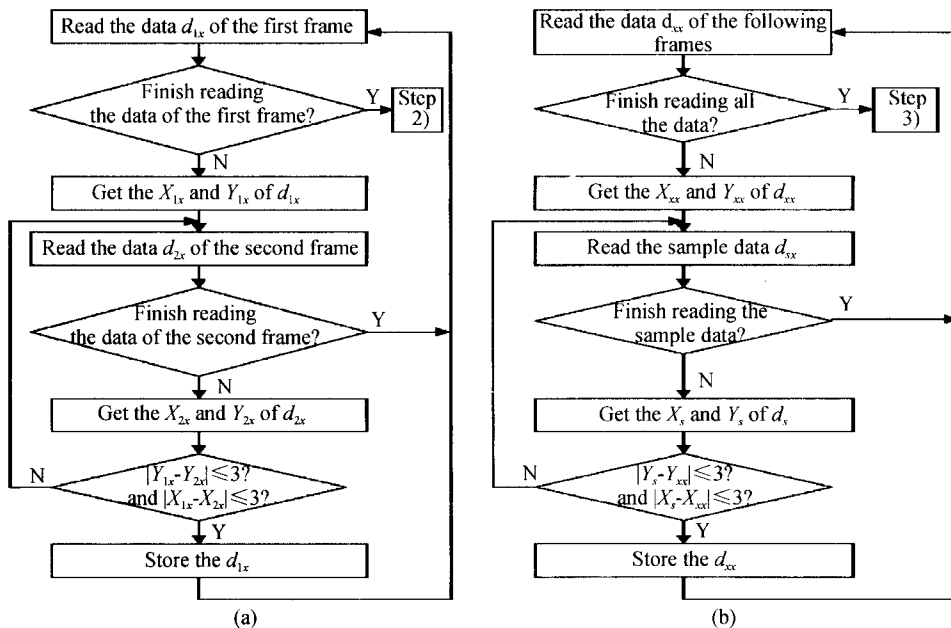


图 2 (a) 步骤 1) 流程图; (b) 步骤 2) 流程图
Fig. 2 (a) The flowchart of step 1); (b) The flowchart of step 2)

可以看出, 用 C32 进行目标识别时, 需要开辟较大的存储空间暂存识别时所需的数据, 而 C32 内

部的静态 RAM 空间仅有 512 字无法满足需求, 因此硬件设计时对 C32 进行了存储器扩展. C32 存储

器扩展示意图如图 3. 采用两片 ISSI 公司的 64k×16bits 的 SRAM 芯片, 将其宽度扩展为 64k×32bits 的存储空间作为数据存储, 分配存储地址为 880000H~88ffffH, 其中 885000H~885fffH, 存储第一帧和第二帧比较所得的样本数据; 886000H

~88ffffH, 存储识别到的空间瞬态光辐射信号数据; 采用 AMD 公司的 FLASH ROM 芯片 AM29F010 用于存储系统程序和初始化数据, 分配存储地址为 900000H~90ffffH; 存储器扩展的译码电路采用 GAL20V8B 实现.

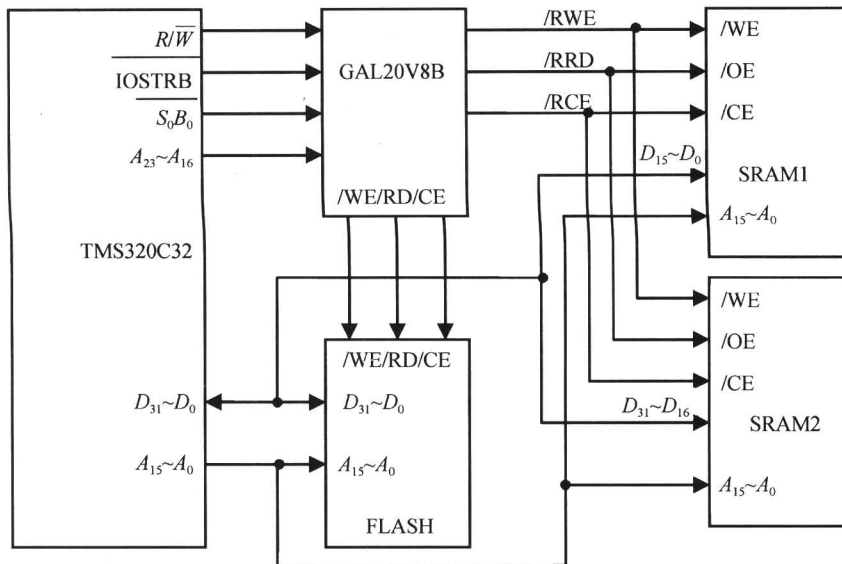


图 3 C32 存储器扩展
Fig. 3 External memory extension of C32

3 重心坐标计算

重心法又称质心法^[4]或矩心法, 它是一种被广泛用于提取像点位置的算法. 由重心法提取出来的目标重心位置, 并不是个别最亮点位置或扫描随机碰到的某一点位置, 而是目标图像中各个像元灰度加权平均的位置. 设某个目标像点有 m 个像素组成, 每个像素都对应确定的空间坐标 (x, y) 及灰度值 $f(x, y)$, 则该目标像点的重心位置计算式如下

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^m f(x_i, y_i) x_i}{\sum_{i=1}^m f(x_i, y_i)}; Y_c = \frac{\sum_{i=1}^m f(x_i, y_i) y_i}{\sum_{i=1}^m f(x_i, y_i)} \quad (2)$$

经过阈值分割和目标识别后, 得到了存储在 886000H~88ffffH 空间中的空间瞬态光辐射信号目标数据. C32 从该存储区读取目标数据, 首先根据上面的重心坐标计算公式求出每帧目标信号光斑的重心坐标, 然后将各帧的重心坐标累加, 求出平均重心坐标 X_c 、 Y_c , 并将计算结果传送给下位机.

在重心坐标计算及累加求平均重心坐标时, 均要用到除法运算. TMS320C32 指令系统不提供直接的除法指令, 必须编写相应的除法运算子程序. C32 的除法运算包括整数除法和浮点数除法两种, 本文为了提高运算准确度采用浮点数除法. 关于 C32 中实现浮点除法的方法和程序代码, 可参见文献^[5].

4 系统测试

为了在实验室模拟空间瞬态光辐射信号的光斑, 用高亮度白色发光二极管发光. 实验中共用了三个 LED, 如图 4. 其中左侧两个模拟强噪音信号 (发光时间 60 ms), 中间一个模拟目标信号 (发光时间 800 ms). 实验时, 目标距离为 2 m, DSP 设定门限值为 1016, 选用帧频为 7.5 fps (帧周期为 133.3 ms) 分辨率为 1024×1024 的 CCD 相机, 对图 4 中的信号进行目标识别和重心计算. 多次实验表明, TMS320C32 可以实时准确地进行目标识别和重心坐标计算, 其中测得 C32 的处理时间为 17.4 ms, 定位误差不超过 ±0.1 个像素.

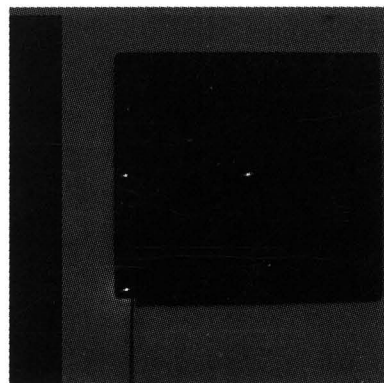


图 4 LED 模拟的目标信号及强噪音信号
Fig. 4 Target signal and strong noise signal simulated by LED

5 结论

本文介绍了在空间瞬态光辐射信号定位系统中,采用高速浮点 DSP 芯片 TMS320C32 实现目标识别和重心坐标计算的硬件图像处理方案. 该方案具有处理速度快和定位准确度高的特点,可以很好地满足定位系统的要求. 这种用 DSP 实现硬件图像处理的方案具有一定的通用性,稍做修改可推广应用到其他星载定位系统中.

参考文献

- 1 冯月霞,刘波. 用 TMS320C50 实现图像目标的形心捕获. 光子学报,2001,30(4):455~459
Feng Y X, Liu B. *Acta Photonica Sinica*, 2001, 30(4): 455~459
- 2 章毓晋. 图象处理和分析. 北京:清华大学出版社,2003. 195~196
- 3 许春晓,孙德宝,李宁,等. 一种基于粒子群算法的红外运动小目标检测算法. 红外技术,2004,26(5):10~12
Xu C X, Sun D B, Li N, et al. *Infrared Technology*, 2004, 26(5):10~12
- 4 徐志刚,马健康,罗秀娟,等. 新型高速视频图像记录判读系统. 光子学报,2004,33(10):1265~1268
Xu Z G, Ma J K, Luo X J, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(10):1265~1268
- 5 王华,汶德胜. 浮点除法运算在 TMS320C3X DSP 中的实现. 微计算机信息,2005,21(08Z):88~89
Wang H, Wen D S. *Control & Automation*, 2005, 21(08Z):88~89

Application of Imaging Processing Implemented by DSP in Spacial Transient Optical Signal Locating System

Wang Hua^{1,2}, Wen Desheng¹

1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Science, Xi'an 710068

2 Graduate School of The Chinese Academy Sciences, Beijing 100039

Received date:2005-06-09

Abstract The imaging characteristics of spacial transient optical signal are introduced. A digital image processing method based on the high-speed Digital Signal Processor for spacial transient optical signal locating is proposed in this paper. The image processing procedure includes filtrating the background and weak noises by threshold segmentation, removing the strong noises by target recognition based on the continuity of target signal and calculating the centroid of target signal at last. Experiment results show that processing speed and measurement accuracy of this method are high, and can satisfy the request of locating system.

Keywords Transient optical signal; Digital signal processing; Threshold; Target recognition; Centroid



Wang Hua was born in 1980. She is a postgraduate student of Xi'an Institute of Optics and Mechanics of CAS. Her research interests include video processing, digital signal processing and FPGA-based system development.