

基于 DSP 的双目视觉系统^①

李 强, 黎福海, 陈嘉玲, 向永嘉

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘 要: 介绍了一种利用 CMOS 传感器、高速可读写存储器 SDRAM、存储器 FLASH, 基于高速数字信号处理器 Blackfin533 DSP 和 CPLD 的双目图像采集、处理系统。系统完成了双目图像的采集、存储以及双目图像匹配处理。详细描述了系统的总体结构、部分硬件设计, 并提出了一种改进的 Census 算法。

关键词: DSP; CPLD; 双目; 图像处理; Census

Binocular Stereo Vision System Based on DSP

LI Qiang, LI Fu-Hai, CHEN Jia-Ling, XIANG Yong-Jia

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A system of acquisition and processing of binocular image is introduced in this paper. Based on complex programmable logic device CPLD and high speed digital signal processor DSP, this system includes of CMOS image sensor, high speed read-write memory SDRAM and FLASH memory. The system completes the real-time acquisition, storing and matching of binocular image. This paper describes the entire structure of the system and a part of details of hardware design. It briefly recites some methods of matching algorithms and proposed a enhanced Census matching algorithm.

Key words: DSP; CPLD; binocular; image processing; Census

双目图像采集与处理是双目立体视觉的基础。目前, 由于双目图像处理信息量和计算量大, 双目图像采集和处理大部分都基于双目相机、采集卡和计算机, 双目立体视觉算法大都在计算机上实现。但是, 这种基于计算机的方法实时性、可靠性与便携性不高, 在工业或军事等复杂环境下应用极为不便。在这种情况下, 基于嵌入式的双目图像采集与处理系统应运而生。

随着数字图像处理技术的发展, 基于嵌入式的双目立体视觉系统由于其稳定、可靠、省电、易维护等特点, 在工业、军事、监控等领域的应用越来越多。一个完整的双目图像采集与处理系统不但要求能够采集双目图像, 且要求完成双目图像信号的处理算法。通常这些算法的运算量大, 又要满足实时性的要求。DSP 以其高速、高性能、支持大容量存储等特点, 在图像处理领域具有不可替代的作用^[1,2]。

1 系统结构框图

本系统由两个 CMOS 图像传感器、CPLD、高速存储器 SDRAM、存储器 FLASH 以及 DSP 构成, 系统结构如图 1 所示。

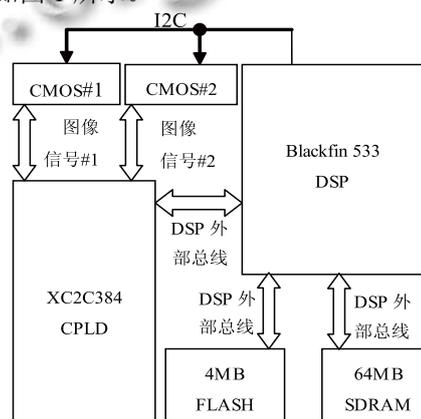


图 1 系统结构原理框图

① 收稿时间:2011-03-22;收到修改稿时间:2011-04-12

2 系统硬件设计

本系统选用模拟器件(ADI)公司的 Blackfin 系列处理器 BF533 作为主处理器。BF533 是 Blackfin 系列中针对多媒体尤其是视频处理和通信方面的高端产品。其内核工作频率可达到 600MHz^[3]。

2.1 双目图像传感器

图像传感器处于系统最前端,其性能优劣直接影响后端处理效果。本系统选用 2 片 Aptina 公司的 1/3 英寸 WVGA CMOS 黑白数字图像传感器 MT9V032 作为双目图像传感器。该 CMOS 传感器输出图像分辨率最大支持 752×480,并支持开窗的功能。通过 I2C 接口,能够对该 CMOS 传感器的工作模式、输出分辨率、曝光、增益等参数进行配置。

2.2 CPLD 模块

CPLD 作为本系统的协处理器,主要负责双目图像采集时序的产生,是双目图像采集的核心模块。本系统选用 Xilinx 公司的 CoolRunner-II 系列 CPLD XC2C384。DSP 通过外部总线接口(EBIU)对 CPLD 进行读写,CPLD 相当于 DSP 的一片片外异步存储器。

2.3 SDRAM

本系统选用 1 片 32M×16bit SDRAM MT48LC32M16A2。该 SDRAM 读写信号兼容 BF533 内置的 SDRAM 控制器,可以很方便地实现与 BF533 的无缝连接,简化了硬件设计。

3 软件部分

3.1 图像几何校正

区域匹配算法的实现一般需要满足如下条件,首先,摄像头模型为线性,其次,左右图像外极线与图像扫描线平行,即外极线约束。然而在实际中这些条件很难被满足,因此在匹配运算之前,需要对摄像头系统进行标定,即先通过计算得到两个摄像头的内、外参数,然后才能根据标定得出的校正系数来完成双目图像对的几何校正,以便用于校正镜头的非线性畸变和外极线配准。显然定标的精度将直接影响匹配结果。由于摄像机系统位置固定不变,张正友提出的二维模板标定方法的过程可离线完成^[4]。这样实时操作中,仅需读取标定中得到的校正系数即可完成双目图像对的几何校正。如式 2 所示。

$$\hat{I}(x, y) = \sum_{i=1}^4 C(x_i, y_i) \cdot I(x_i, y_i) \quad (2)$$

其中, $\hat{I}(u, v)$ 为校正后得到的匹配窗口 W 内的像素值, $I(u_i, v_i)$ 为原始图像中相应像素的 4 个相邻像素点的像素值, $C(u_i, v_i)$ 是相应的校正系数,由标定确定。图 2 所示为经过离线标定后,校正前与校正后图像对比。

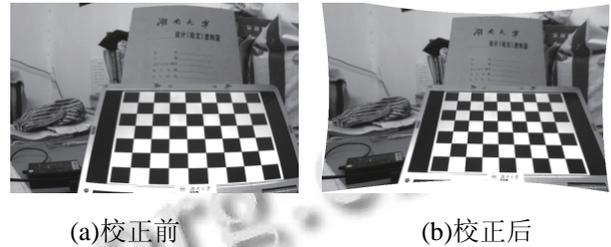


图 2 校正前后对比

3.2 区域匹配算法

主要的区域匹配算法主要有 SAD、NCC、Census 等^[5]。其中, SAD 算法计算简单,易于实现,但对噪声敏感,并且两个摄像头之间的亮度变化会导致结果不理想。NCC 可以减少噪声和亮度差带来的影响,但由于要计算平方根,计算量大,故 NCC 不适合实时匹配。由 Zabih 和 Woodfill 提出的 Census 算法^[6]对两幅图像的亮度差不敏感,计算量相对不大,适合实时匹配,故本文选择 Census 算法,并在此基础上提出了改进。

Census 算法基于 Census 变换。Census 变换包括一个比较函数 ξ ,用来比较区域图像中的中心像素点 i_1 的灰度值与其邻域像素 i_2 的灰度值的大小:

$$\xi(i_1, i_2) = \begin{cases} 1 & i_1 > i_2 \\ 0 & i_1 \leq i_2 \end{cases} \quad (3)$$

将比较的结果保存成为一个位串:

$$T_{census}(I, x, y, s_t) = \text{BITSTRING}_{m,n} \{ \xi[I(x, y), I(x+n, y+m)] \} \quad (4)$$

其中

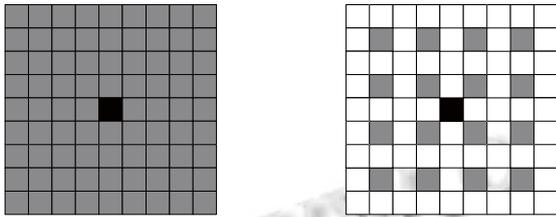
$$m, n \in \left[-\frac{s_t-1}{2}, \frac{s_t-1}{2} \right] \quad (5)$$

得到左目图像 I_L 的位串 $T_{census}(I_L, x, y, s_t)$ 和右目图像 I_R 的位串 $T_{census}(I_R, x, y, s_t)$ 后,利用汉明距离计算匹配代价:

$$C_{x,y,d} = \sum_{x,y} \text{HAMMING}[T_{census}(I_L, x, y, s_t), T_{census}(I_R, x+d, y, s_t)] \quad (6)$$

C 为匹配代价, d 为偏移量。

为了进一步减少运算量,提高效率,本文对 Census 算法提出改进.传统算法将区域图像中心像素与区域内的每一个点进行比较,但这样计算量大,对硬件资源消耗大.本文提出一种稀疏 Census 变换,在进行 Census 变换时,区域图像中心像素有选择性地与邻域像素进行比较,得出位串.如图 3 所示.以分辨率为 480×720 的图像为例,选择区域大小为 9×9 ,传统 Census 变换要进行 2.76×10^7 次比较,而改进后的 Census 变换只需 5.53×10^6 次,效率是传统算法的 5 倍.



(a)传统 Census 变换(b)稀疏 Census 变换(Sparse Factor = 4)
图 3 改进 Census 变换示意图

计算出匹配代价后,本文利用二次曲线插值对匹配结果进行亚像素优化.这里,我们对代价值取绝对值的最小值点与其相邻的点利用二次曲线插值:

$$D(x, y) = \frac{C_{x,y,d-1} - C_{x,y,d+1}}{2C_{x,y,d-1} - 4C_{x,y,d} + 2C_{x,y,d+1}} \quad (7)$$

其中 $D(x, y)$ 为视差.

同时,本文利用左/右匹配一致的方法检测遮挡区域.即对双目图像进行两次匹配,第一次以左目图像为准,区域窗口在右目图像上滑动,第二次反之,比较两次匹配得出的视差图,剔除两幅图像中差别较大的点,得出一幅可靠的视差图.图 4、5、6 为系统输出结果.



图 4 输出结果 1



图 5 输出结果 2



图 6 输出结果 3

3.3 系统软件流程

系统软件流程如图 7 所示.系统上电后,首先 DSP 加载 FLASH 中存储的程序,执行完初始化指令后, DSP 通过 I2C 总线初始化 MT9V032, 时其工作在 SLAVE 模式. DSP 通过外部总线接口对 CPLD 进行读写,使 CPLD 以一定的时序采集双目图像并通过 DSP 的 PPI 接口存入 SDRAM^[7],进行校正、匹配及亚像素优化.

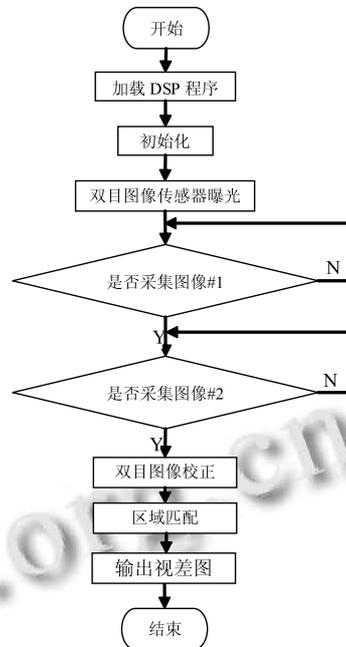


图 7 系统软件流程

本文给出了一种基于 DSP 与 CPLD 结构的双目图像采集和处理系统的方法.描述了系统的 CMOS+CPLD+DSP 的硬件构成框图.利用两片 CMOS 传感器和 CPLD 进行双目图像采集, SDRAM 作为双目图像存储器, FLASH 作为程序 ROM, 利用 I2C 总线对 CMOS 传感器进行配置, CPLD 作为协处理器, 主要提供双目图像采集的时序, 图像处理部分主要由 DSP 完成.系统在软件上实现了双目图像的校正与匹配, 输出视差图.

(下转第 49 页)

用该方法的平均擦除率达到了 96%，与形态学算法基本相当，比 CVC 法提高了 35%，而处理速度只有形态学算法的 6%，满足实时处理的要求。

参考文献

- 徐娟,汪懋华.图像形态学在苹果自动分级视觉信息处理中果梗判别与边缘检测中的应用.农业工程学报,1999,15(2): 177-180.
- Ruiz LA, Molto E, Juste F. Location and Characterization of the Stem-Calyx Area on Oranges by Computer Vision. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 64: 165-172.
- Wolfe RR, Sandler WE. An algorithm for detection using digital image analysis. Trans of the ASAE, 1985, 28(2): 641-644.
- Yang QS. Machine Vision for Fruit Blemish Detection. UK: Cranfield Univesity Silsoe Campus, 1995,65-93.
- Sarkar N, Wolfe RR. Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision. Trans of the ASAE, 1985,28(3):970-974.
- 张建华,王书志,冯全.一种计算机视觉识别硬皮甜瓜瓜蒂的新方法.计算机系统应用,2009,18(7):186-189.
- Freeman H, Davis LS. A corner-finding algorithm for chain-coded curves. IEEE Trans. on Computers, 1977,26(3): 297-303.
- Mokhtarian F, Suomerla R. Curvature scale space based image corner detection. Processing European Signal Processing Conference, Island of Rhodes, Greece, 1998: 2549-2552.
- Lee JS, Sun YN, Chen CH. Multiscale corner detection by using wavelet transform. IEEE Trans. on Image Processing, 1995, 4(1):100-104.
- Koenderink JJ. The structure of image. Biological Cybernetics, 1984,50(5):363-370.
- Harris C, Satephens MJ. A combined corner and edge detector. Alvey Vision Conference, Manchester, 1988, 147-152.
- Smith SM, Brady JM. SUSAN: A new approach to low level image processing. Internertional Journal of Computer Vision, 1997, 23(1):45-78.
- 张小洪,李博,杨丹.一种新的 Harris 多尺度角点检测.电子与信息学报,2007,(7):1735-1738.
- 王琪,王丽萍,陈凯迪.一种简单的图案填充算法.微计算机信息,2005,(27):116-117.

(上接第 22 页)

4 结语

该系统实时性强,智能程度高,具有模块化、便携、可靠等特点。该系统在实际中可以应用于机器视觉、导航、医疗、监控、军事检测等场所。

参考文献

- ADSP-BF533 DATASHEET, Analog Devices Incorporation, 2008.http://www.analog.com
- 徐婉莹,刘建军,黄新生.基于 CPLD 和 DSP 的高速图像采集技术研究.电子工程师,2004,30(6):48-50.
- ADSP-BF533 Hardware Reference, Analog Devices Incorporation, 2008.http://www.analog.com
- Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration. Technical Report MSR TR-98-71, Microsoft Research, December 1998.
- Scharstein D, Szeliski R. A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms. Int'l J. Computer Vision, 2002,47(1):7-42.
- Zabih R, Woodfill J. Non. Parametric Local Transforms for Computing Visual Correspondenc Third European Cone Computer Vision 1994,150-158.
- 陈峰.Blackfin 系列 DSP 原理与系统设计.北京:电子工业出版社,2004.4-11.