

文章编号 1004-924X(2003)05-0497-05

基于 TMS320C6202 DSP 的实时 数字图像处理系统的设计

朱明¹, 鲁剑锋¹, 赵建¹, 秦于华²

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;

2. 长春理工大学, 吉林 长春 130021)

摘要:应用高性能数字信号处理器 TMS320C6202 作为核心, 结合大规模可编程逻辑阵列 CPLD 进行逻辑控制和现场可编程门阵列 FPGA 对采集的视频数字图像进行预处理, 实现了视频图像的采集和图像目标的实时数字图像处理。重点介绍了该实时数字图像处理系统的硬件组成, 工作原理和图像处理算法的应用。

关键词:数字信号处理器; 数字图像处理; 自动目标识别

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

Design of real-time digital image processing system based on digital signal processor TMS320C6202

ZHU Ming¹, LU Jian-feng¹, ZHAO Jian¹, QIN Yu-hua²

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

2. *Changchun University of Science and Technology, Changchun 130021, China*)

Abstract: Acquisition and real-time digital processing of images is realized by using high-performance digital signal processor TMS320C6202 as the core, large-scale programmable logical array CPLD for logic control, and field programmable gate array FPGA for preprocessing of images. The hardware composition and the theory behind the real-time digital image processing system, and the application of the image processing algorithm are discussed in detail.

Key words: digital signal processor; digital image processing; automatic target recognition

1 引言

自动目标识别系统(ATR)的主要算法包括图像数据的预处理、图像分割、目标检测、特征计算、相关匹配、识别和归类、运动分析、目标跟踪、瞄准点选择等。目的是要实现这些功能的实时

性,并应用于动态战术环境。文献[1-2]分别研究了基于差值图像的跟踪系统;文献[3]研究了基于图像特征匹配的系统;文献[4]介绍了美陆军白沙靶场的实时电视跟踪系统,这些系统代表了近年来国内外电视跟踪测量系统的基本类型和主要研究成果。目前这些算法的研究,既有基于对以往算法的改进,同时也致力于新算法的产生,尤其

是将相关领域的研究成果应用进来,例如人工智能、并行处理等技术,这就大大推动了自动目标识别技术的发展^[4],从而在软件上借助算法的改进和新算法的提出,同时在硬件上借助高速数字信号处理器的开发和换代,使实时条件下实现目标的检测、提取、识别、跟踪技术不仅成为可能,而且使准确性更高,实时性更强。

由于数字处理器件,如高速模数转换器件(A/D)、数字信号处理器(DSP)芯片等的发展,处理方法已从简单的模拟处理进入数字处理阶段,各种新的数字信号处理方法得到广泛应用。数字处理方法的优点是精度高,但如进行全视场的搜索处理,实时性则很难满足。近年来国内外视频实时数字图像处理系统在目标实时检测方面,出现了高度并行的图像处理方法,如英国 INMOS 公司 1985 年首次推出 32 位具有独特网络性能的 Transputer 芯片,揭开了研究高速并行数字图像处理系统的序幕^[5],此后陆续出现了更高性能的微处理器。所用的数字信号处理器从 TMS32010, TMS320C25, TMS320F206, TMS320C80 到目前的 TMS320C6000 系列,不断地进行升级换代。着重从硬件设计的角度,介绍了采用数字信号处理器 TMS320C6202 的实时数字图像处理系统的构成和算法的应用。

2 实时数字图像处理系统硬件构成

本系统主要由数字信号处理器 TMS320C6202 为核心,结合可编程逻辑器件 CPLD 和现场可编程门阵列 FPGA,构成的实时数字图像处理系统。其原理框图如图 1 所示。

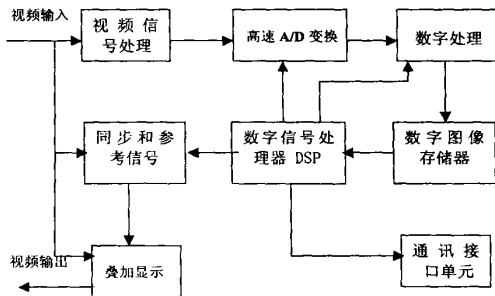


图 1 数字图像处理系统硬件框图

Fig. 1 Hardware block diagram of the digital image processing system

其主要功能模块有视频信号处理单元、高速模数变换单元、数字处理单元、数字图像存储器单元、数据分析处理单元、数据通讯接口单元、同步和叠加显示单元。该实时数字图像处理系统的工作原理是由摄像机输出的视频信号经嵌位、放大、滤波等预处理电路,再通过高速模数转换器转换为 8 位数字信号输出。同时同步机对输入的视频信号进行行场同步分离,驱动地址发生器产生数字图像数据的存储地址,数字图像数据在跟踪窗口的范围内依照地址产生器的地址按照顺序存入图像采集存储器。闪存 FLASH 用作存放开机自举的程序机器码以及有关参数数据。SDRAM 是容量为 512 K × 32 bit × 4 bank 的同步动态存储器,该存储器可用作存储以 DMA 方式从双端口存储器 RAM 传输过来的数字图像数据。数字信号处理器 TMS320C6202 执行芯片内的程序存储区的程序,对数字图像数据进行处理,与主机进行数据通讯等工作。由高速数字信号处理器 TMS320C6202 和数字图像存储器组成的图像数据分析处理单元对目标信号做各种图像数据分析处理,串口部分的作用是实现与主机的数据中转传输。处理窗口电路的作用是根据处理窗口数据形成显示窗口和采集窗口。显示窗口送至视频复合电路供显示和指示跟踪效果用;采集窗口为场采集窗口和行采集窗口,可用作选通或形成图像数据的存储地址。视频复合电路的作用是将显示窗口、电十字线、字符和图像信号叠加起来,供监视器显示。

2.1 TMS320C6202 处理器简介

TMS320C6000 系列数字信号处理器是美国 TI 公司于 1997 年推出的高端系列的数字信号处理器。其中 TMS320C6202 这种芯片是定点芯片,选用的型号为 TMS320C6202 GJL - 250,指令周期为 4 ns,具有超长指令字处理能力。其内部有 8 个并行处理单元,8 条指令组成一个指令包,一个指令包的总字长为 256 位。它可在一个时钟周期内并行执行 8 条指令。这种高速高性能的数字信号处理器通过片内的锁相环路(PLL)将输入时钟频率倍频,可达 250 MHz。最大处理能力的理论值可达到 $8 \times 250 \text{ MHz} = 2000 \text{ MIPs}$ (每秒执行指令)。C6202 的 8 个独立功能单元中有两个 16 bit 乘法器和 6 个算术逻辑单元。C6202 的存储器数据宽度为 32 bit,芯片内部集成了 128 K-

Byte的片内数据RAM和256 KByte的片内程序RAM。C6202内部的4通道DMA协处理器可用于数据的DMA传输。C6202还具有3个McBSP(多通道缓冲串口),它不仅可完成标准串口的全双工串行通信,还支持多种通信协议下的直接接口。C6202还具有一个32位宽的扩展总线,支持与异步外设、异步/同步FIFO、PCI桥以及外部主控处理器等的接口。

2.2 外部存储器接口设计

外部存储器接口EMIF(External Memory Interface)是外部存储器和C6000片内其他单元间的接口,CPU访问片外存储器时必须通过外部存储器接口EMIF。C6000系列数字信号处理器的EMIF具有很强的接口能力,其数据总线宽度为32 bit,可寻址范围为64 Mb,分为4个寻址空间CE0-CE3,每个CE寻址空间彼此独立,可以进行不同的访问控制;同时也提供对8/16位存储器的读写支持;既提供了同步存储器的高吞吐率接口,也支持低速RAM的存储接口,可以与目前几乎所有类型的存储器直接接口,EMIF支持的器件类型包括:

·同步突发静态RAM(SBSRAM),读写速度可达 $1 \times$ 或 $1/2 \times$ CPU时钟。

·同步动态RAM(SDRAM),接口速度为 $1/2 \times$ CPU时钟。

·异步器件,包括异步SRAM、ROM、和FLASH等。

异步接口速度、时序可编程,以配合不同的器件。存储器的设计首先要考虑存储器的速度、类型、容量是否能满足运算要求以及性价比。本系统采集的是灰度图像,要求能够存储两场图像,每场图像按照 $512 \times 256 \times 8$ bit点计算,需要256 K $\times 8$ bit,本系统采用了1片SDRAM用来在算法运算过程中对图像数据的缓存,占用CE2存储空间。C6000系列数字信号处理器的EMIF提供了对SDRAM的直接支持,所以接口十分方便。异步存储器接口选用了1片双端口RAM(型号为IDT7132)作为图像数据从FPGA到DSP之间的传输,IDT7132容量为2 K $\times 8$ bit,通过对DMA控制寄存器的设定,图像数据以DMA方式向DSP传输。选用了1片闪存FLASH(型号为AM29LV800)作为程序存储器。C6000系列数字信号处理器提供了一系列的外部管脚,完成芯

片的状态设置,这些设置项称为自举设置项(Boot Configuration),决定芯片在复位后执行初始化操作的内容,所有设置项通过上电复位后检查设置管脚BOOTMODE[4 0]的状态,自举逻辑开始生效。C6202利用扩展总线的XD[4 0]作为BOOTMODE[4 0]信号。本系统设置存储器映射方式为MAP1,SDRAM占用CE2空间,双端口RAM占用CE3空间,闪存FLASH占用CE1空间,上电后程序从闪存FLASH以DMA方式自举到内部程序RAM当中,应用程序在内部程序RAM全速运行。

2.3 视频信号处理单元

它接收可见光CCD摄像机或红外摄像机输出的全视频信号,并对视频信号首先经过预处理,程控放大,保证视频信号有满意的幅度后进入A/D采集单元,确保A/D全量程工作。同时,视频信号也送到图像混合电路与参考信号混合供图像监视和记录。视频信号处理单元拟采用AD9631高解析度宽带视频放大器。

2.4 A/D变换单元

高速A/D变换对视频信号数字化后,将模拟图像信号转换为数字图像信号,存入图像存储器中。A/D变换器拟采用AD9042,A/D最高采样频率可达40 MHz,精度为12 bit,输入信号范围为 ± 2 V。

2.5 数字处理单元

数字处理单元完成数字滤波、图像增强和图像分割等数字图像预处理功能。采用在线可编程大容量FPGA,ALERA公司EP1K100。由DSP控制A/D启动,控制A/D采样频率,A/D采样结果进行锁存。每采样1个点,即存入双口RAM中。将双口RAM的存储空间分成2个数据块,每采完512个数据即产生1个EXT-INT7中断,请求DSP将第1个数据块的数据取走。DSP取数时不影响A/D采样,A/D采样的下512个数据写入下一个数据块,两个数据块轮流工作。

2.6 数据分析处理单元

由高速数字信号处理器TMS320C6202和数字图像存储器组成的图像数据分析处理单元对目标信号做各种图像数据分析处理,接收中心控制器通过串口发送指控命令,计算并输出被处理目标的数据,根据被处理目标在视场中的位置与大小向窗口产生电路送出处理窗口的的位置及大小数据。

2.7 通讯接口单元

由一个 RS422 串口和一个 RS232 串口组成中心控制器通过串口发送指令命令,实时数字图像处理系统并对目标处理数据进行修正和规范化处理,送出符合规定格式的图像处理数据。

2.8 同步和参考信号产生单元

它为实时图像处理系统各个处理单元送出所需要的同步信号,使它们能同步协调地工作。参考信号包括电视处理视场、十字丝、处理窗口、目标信号提取指示等。将这些参考信号与图像信号混合在一起显示在监视器屏幕上,便于操作人员监视系统工作情况,判断处理的质量、选择处理方式和处理区域。

3 图像处理算法的应用

3.1 图像分割

图像阈值分割是一种广泛使用的图像分割技术,它利用了图像中要提取的目标与其背景在灰度特性上的差异,把图像视为具有不同灰度级的两类区域(目标和背景)的组合,选取一个合适的阈值,以确定图像中的每一个像素点应该属于目标还是背景区域,从而产生相应的二值图像。阈值分割不仅可以大量压缩数据,减少存储容量,而且能大大简化在其后的分析和处理步骤。阈值分割的方法很多,但目前很难找到适用于各种场合的分割方法。针对实际情况,采用了类间方差法分割方法。最大类间方差法由 Ostu 提出^[6],是在判决分析最小二乘法原理的基础上推导得出的,算法比较简单,适用范围较广,是一种受到关注的阈值选取方法。

设原始灰度图像的灰度级为 L ,灰度级为 i 的像素点数为 n_i ,图像的全部像素为 N ,归一化直方图,则:

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1, \quad (1)$$

按灰度级用阈值 t 划分为两类: $C_0 = (0, 1, \dots, t)$ 和 $C_1 = (t+1, t+2, \dots, L-1)$ 。 C_0 和 C_1 类的出现概率及均值分别为:

$$p_0 = \sum_{i=0}^t p_i = \mu(t), \quad (2)$$

$$p_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - \mu(t), \quad (3)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t ip_i / p_0 = \mu(t) / \mu(t), \quad (4)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} ip_i / p_1 = \frac{\mu_T(t) - \mu(t)}{1 - \mu(t)}, \quad (5)$$

其中:

$$\mu(t) = \sum_{i=0}^t ip_i, \quad (6)$$

$$\mu_T(t) = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i, \quad (7)$$

C_0 和 C_1 类的方差:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t (i - \mu_0)^2 p_i / p_0, \quad (8)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 p_i / p_1, \quad (9)$$

类间方差为:

$$\sigma_B^2 = p_0 \sigma_0^2 + p_1 \sigma_1^2, \quad (10)$$

类内方差为:

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= p_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + p_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \\ &= p_0 p_1 (\mu_1 - \mu_0)^2, \end{aligned} \quad (11)$$

总体方差为

$$\sigma_T^2 = \sigma_B^2 + \sigma^2, \quad (12)$$

引入关于 t 的等价的判决准则:

$$J(t) = \sigma_B^2 / \sigma^2, \quad (13)$$

可选最佳阈值:

$$t^* = \max_{t \in \{0, \dots, L-1\}} J(t), \quad (14)$$

3.2 图像匹配算法

采用序贯相似性检测的算法(SSDA)^[10],SSDA 算法对于二值图可以简化,这时模板与对应子图中的成对像点的差值为:

$$\begin{aligned} |F(m+i, n+j) - T(m, n)| \\ &= \bar{F}(i, j) T + F(i, j) \bar{T} \\ &= F(m+i, n+j) \oplus T(m, n), \end{aligned} \quad (15)$$

式中: \oplus 表示异或处理(模 2 加),由此得到

$$D(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F(m+i, n+j) \oplus T(m, n), \quad (16)$$

这被称为二进制的 Hamming 距离, D 越小,则表明子图像与模板越相似。由于在实时数字图像处理系统中,图像采样时间很短,每场图像 20 ms

(25 帧/s),因此目标在下一帧的位置距离上一帧的位置应该在一定范围之内。为了减少运算量,匹配不必对整幅图像进行匹配,而只需在目标周围的范围进行匹配即可。

系统的软件编程和调试是在 Code Composer Studio(CCS) 1.2 环境下完成的^[7-8]。CCS 支持 ANSI C 语言和汇编语言,本系统软件代码完全由 C 语言实现^[9,11]。

4 结束语

应用高性能数字信号处理器 TMS320C6202

结合可编程逻辑器件 CPLD 和 FPGA,实现了电视图像的采集和图像目标的实时图像处理。由于采用了在线系统编程技术,使系统具有灵活性,系统升级方便。经实验证明系统运算速度高,稳定性好,已被应用某型号设备中,满足了该设备系统实时性要求。

参考文献:

- [1] 付京逊,冈萨雷斯 R C, LEE C S G. 机器人学[M]. 北京:中国电子科学技术出版社,1989.
FU K S, GONZALEZ R C, LEE C S G. *Robotics* [M]. Beijing:China Electronic Science and Technology Press,1989. (in Chinese)
- [2] 田新伦,柳健,刘华智,等. 数字图像处理[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1988.
TIAN X L, LIU J, LIU H ZH, et al. *Digital image processing* [M]. Changsha: National Defence University of Science and Technology Press,1988. (in Chinese)
- [3] DENG K, WILSON J N. An approximation-based video tracking system[J]. *SPIE Image Algebra and Morphological Image Processing*, 1991,11: 304-312.
- [4] GILBERT A L, GILES M K, FLACJS G M, et al. A real-time video tracking system[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1980,2(1):47-55.
- [5] MANUEL T. As the world turns parallel, transputer applications explode[J]. *Electronics*, 1998,71: 110-112.
- [6] OSTU N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. *IEEE Transactions on SMC*, 1979,SMC-9(1): 62-66.
- [7] TMS320C62xx peripherals reference guide[Z]. Texas Instruments Incorporated,1999.
- [8] TMS320C62xx CPU and instruction set reference guide[Z]. Texas Instruments Incorporated,1999.
- [9] TMS320C6x Optimizing C compiler user guide[Z]. Texas Instruments Incorporated,1999.
- [10] 沈庭芝,方子文. 数字图像处理及模式识别[M]. 北京:北京理工大学出版社,1998.
SHEN T ZH, FANG Z W. *Digital image processing and pattern recognition* [M]. Beijing: Beijing University of Science and Technology Press,1998. (in Chinese)
- [11] 何斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京:人民邮电出版社.
HE B, MA T Y, WANG Y J, et al. *Visual C++ Digital image processing* [M]. Beijing: People Post Press. (in Chinese)

作者简介:朱明(1964-),男,江西南昌人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究员,从事数字图像处理、电视跟踪和自动目标识别技术的研究。