

TMS320C50 组成的水下视频图像数字化系统的软件设计*

许 茹¹ 许 俊¹ 王清池²

(¹ 厦门大学电子工程系 361005)

(² 厦门大学海洋系 361005)

提要 由 DSP(数字信号处理器)芯片 TMS320C50 构成的视频图像数字化系统较好地解决了模拟视频图像在复杂的海洋声信道传输的信源编码问题。由 C50 汇编语言设计的系统软件,充分利用 C50 芯片的阴影寄存器,将视频信号的行、场信号作为 C50 的外部中断 1 和 3 的申请信号,快速完成了视频图像的实时数据采集。采用查表法在 128 μ s 的时间内完成一个 8×8 子块的 DCT 变换。这种软件设计方法使系统即使在采集高密度(64 K $\times$ 8 bit)图像时也能在规定的时间内完成模拟图像的数字化和数字化后的数据处理。

关键词 DSP 中断触发,阴影寄存器,压缩编码,DCT 变换,查表法。

海洋声信道是一种极其复杂的随机时-空-频变参、有限带宽信道,并伴有强多途、高噪声的干扰。因此,利用超声波在这种信道中进行视频图像的有效无缆传输,即在满足图像不失真度的前提下达到一定的传输速率和一定的传输距离,就必须解决图像信号的信源、信道编码问题。作者利用美国 TI 公司的第五代 DSP(数字信号处理器)芯片 TMS320C50(以下简称 C50)作为核心器件,组成视频图像数字化系统,取得了较为令人满意的结果。

系统由 A/D 转换器、外部扩展帧存贮器、视频信号行/场同步分离器、DSP 芯片组成,行、场同步信号分别占用 C50 的外部中断 1、3,在该信号的触发下,由系统软件统一指挥,完成一帧图像的软件实时采集,并在两帧图像的采集间隔时间内对数字化了的图像信号作 DCT(离散余弦变换)和压缩编码,以提高图像信号的传输率。

1 系统软件的实现

系统软件利用 C50 的汇编语言编制。软件的设计立足于能在规定的时间内完成对视频图像的实时采集、数据处理及数据发送。

为了满足实时性的要求,让水下 CCD 摄像头获取的模拟图像信号首先通过行、场同步分离,得到场脉冲信号后立即由场脉冲申请中断,通知系统打开行

脉冲中断,待行脉冲到来后即开始一帧图像的数据采集,直至采满规定的点阵数后,系统关闭行、场中断源,进入数字化图像数据的后处理阶段。图像数据的处理主要是实现 DCT 变换和变换后数据的压缩编码。

考虑到 C50 的指令周期可以调整到 50 ns,针对所承担项目的具体要求,充分发挥了 C50 的高速特性,用软件的方法完成一帧图像信号的采集,也就是说在图像采集期间由 C50 设置软件计数器,控制每帧图像的采集行数和每行图像的采集点数,这就使得系统在不改变任何硬件的情况下,灵活地实现对不同点阵数要求的图像的采集。这一功能分别由系统的主程序和行中断服务子程序来完成,系统主程序的流程图见图 1。

值得注意的是,C50 的外部中断必须由相应管脚的低电平触发,中断触发信号应满足两个周期的高电平后接 3 个周期的低电平。这种“电平加边沿”的中断触发方式可以使 C50 避免由于噪声引起的误中断或由于单个长中断信号触发的多次中断^①。程序编制时,通常把中断向量放在程序存贮区的开头,但在某

* 国家“863”计划智能机器人主题资助项目 863-512-04-07 号。

① TMS320C5x User's Guide, 1993. Texas Instruments.

收稿日期:1998-10-07;修回日期:1998-12-27

些情况下,由于系统的特殊要求,也可以把中断向量放到程序存储区中包含 2 K 字的 32 页的任一页开头,只要把 5 位的段地址送到 PMST(处理器模式状态寄存器)中的中断指针 IPTR 域中去。例如:当需要把中断向量转移到程序存储区 0800H 处,可以简单用两条指令来实现:

LDP #0

OPL #0800H,PMST

但是中断向量 RESET 是一定要在程序存储区的起始处。

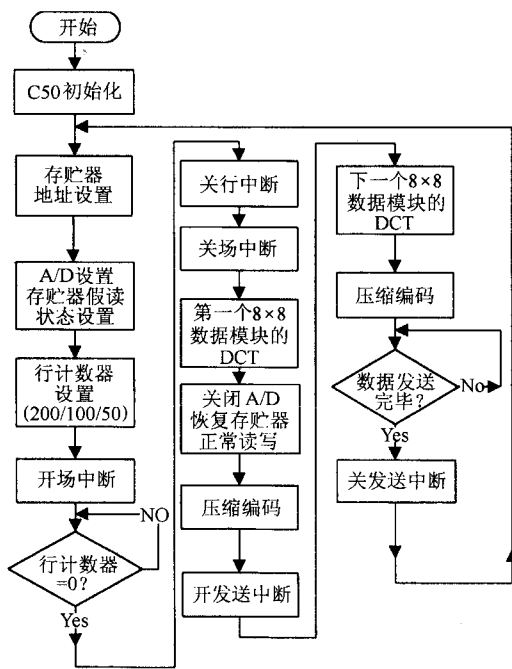


图 1 系统主程序流程

Fig. 1 Main program flowchart

系统一旦响应中断,一些重要的寄存器内容会自动被保存到一个深度为 1 的阴影寄存器组(现场包含寄存器)①中,这些寄存器的内容在转移的过程中仍可以被 ISR(中断服务子程序)所用,而当中断结束,执行返回指令时,这些内容又立即从阴影寄存器复制回相应的 CPU 寄存器中,这种结构使得 CPU 在执行中断服务子程序时,保护和恢复现场不需要额外的开销。但是如果要执行多重中断,因为阴影寄存器的深度只有 1,必须用软件来保护和恢复现场,从而花掉许多周期的时间。由于所设计的系统中的 ISR 较短,所以并没有使用中断嵌套,而是顺序地来处理中断。

2 图像 DCT 变换及其在 C50 上的实现

2.1 图像 DCT 变换

二维模拟图像 $f(x,y)$ 经过 A/D 抽样量化以后得到了数字图像,它一般可以表示为: $f(i,j)$, 其中 $i,j = 0,1,\dots,N-1$ [1]。在这种表示中存在着冗余性,图像压缩的目的就是要消除这种冗余性。利用压缩以后的数据进行图像传输,无疑提高了传输速率。

众所周知,变换法是实现图像的统计压缩编码方法之一,DCT 变换则是目前静态图像压缩编码(JPEG)的标准算法,DCT 接近 KLT,而其变换效率优于 DFT,在压缩比大约是 2 的情况下,能够无失真地恢复图像。

对于 $N \times N$ 大小的二维 DCT 变换表达式如下:

$$F(u,v) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(u) C(v) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i,j) \rightarrow \leftarrow \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2N}$$

注意到 DCT 变换的实际做法是将一幅图像分割成 8×8 的子块,故上式中的 $N=8$,则上式可以改写成:

$$F(u,v) = \frac{1}{4} C(u) C(v) \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 f(i,j) \rightarrow \leftarrow \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16}$$

$$\text{其中, } C(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}, u=0, C(v) = \frac{1}{\sqrt{2}}, v=0 \\ C(u) = 1, u \neq 0, C(v) = 1, v \neq 0$$

$f(i,j)$ 表示像素的值, $F(u,v)$ 表示 DCT 系数 [3]。

由此可见,DCT 变换是将一帧 $P \times Q$ 大小的图像分割成 8×8 的子块,再逐个将 8×8 的子块变换为 8×8 的 DCT 系数,每一个系数块的左上角元素均代表图像数据块空间能量中的直流量,其他元素则代表交流分量,而且随着远离直流分量的程度,其代表的交流分量的频率也随之升高 [4]。

由于一帧图像上点与点之间的样本值变化一般较慢,大多数信号集中在低频区,故上述处理过程是实现压缩的基础。

2.2 DCT 在 C50 上的实现

$$\text{其中, } \lambda = \cos\left(\frac{\pi}{16}\right), \gamma = \cos\left(\frac{3\pi}{16}\right), \mu = \sin\left(\frac{3\pi}{16}\right), v =$$

① TMS 320 C5 × User's Guide, 1993. Texas Instruments.

$$\begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \\ Z_5 \\ Z_6 \\ Z_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \lambda & \gamma & \mu & v & -v & -\mu & -\gamma & \lambda \\ \beta & \delta & -\delta & -\beta & -\beta & -\delta & \delta & \beta \\ \gamma & -v & -\lambda & -\mu & \mu & \lambda & v & -\gamma \\ \alpha & -\alpha & -\alpha & \alpha & \alpha & -\alpha & -\alpha & \alpha \\ \mu & -\lambda & v & \gamma & -\gamma & -v & \lambda & -\mu \\ \delta & -\beta & \beta & -\delta & -\delta & \beta & -\beta & \delta \\ v & -\mu & \gamma & -\lambda & \lambda & -\gamma & \mu & -v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} \quad [5]$$

$$\sin(\frac{\pi}{16}), \delta = \sin(\frac{\pi}{8}), \beta = \cos(\frac{\pi}{8}), \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

本系统基于如上方程式将 DCT 系数矩阵作为一个系数表存贮在 C50 片上某一存贮区中,利用查表法将 DCT 系数乘以输入序列即可得到结果。在 C50 中(20MHz 机器时钟)使用查表法完成一个 8×8 的 DCT 约为 128 μ s,发送一场图像(320×200 像素)数据用时 28 s(忽略图像采集的时间 25 ms),平均发送一个 8×8 子块的时间大约为 $28 \text{ s} / 1000 = 280 \text{ ms}$,这个数值远大于 C50 完成一个 8×8 子块 DCT 所用的时间,所以使用查表法完全可以满足该系统的处理速度要求。在编程中应着重考虑以下几个方面的问题:

(1) DCT 中的系数如 α, β, γ 等均为小数,而 C50 是 16 bit 定点 DSP 芯片,它只能处理整数或非小数的值。为了在 C50 中使用小数,将小数乘以 32 K (32 768),舍入到最近的整数,就形成一个标准化的小数,在 COFF 中称为 Q15 格式。标准化小数与输入像素值相乘,在 C50 的 PREG 和 Accumulator 中得到 32 bit 的乘积,它包含两个符号位,将乘积左移一位去掉多余的符号位,再除以 32 K 就得到最终结果(用 SACH 指令)。

(2) 系数表在整个 DCT 运算过程中均会用到,因此将它存放在 C50 片内的双口 RAM-B0 区中,并

将它配置成程序存储器,用 SETC CNF 指令。

(3) 变换结果以倒位序存放在另一个数组存贮区,倒位序可以用间接寻址很方便地做到(*BR0+或*BR0-)。

3 结论

利用 DSP 芯片构成水下视频图像软件采集系统最大限度地节省了硬件资源,较好地完成了水下视频图像的实时采集和处理,同时给系统带来了较大的灵活性。作者设计的这一个系统经实验室调试和海上初步试验,针对高、中、低 3 种不同点阵密度的图像采集均取得了较为满意的效果。

参考文献

- 1 王新成.多媒体实用技术(图像分册).成都:电子科技大学出版社,1995. 119~126
- 2 侯 阳.数据压缩技术及 C 语言实现实例.北京:学苑出版社,1994. 262~266
- 3 王中平、魏 云等.计算机多媒体实用技术.西安:陕西电子杂志社,1994. 65~70
- 4 郝 杰、吴元清等.实用多媒体技术及其 C 语言实现.北京:电子工业出版社,1995. 148~167
- 5 Luis de Sa, Vitor Silva et al. . High-Resolution Sensors and Hybrid Systems. 1992, 1 656;369~373

SYSTEM SOFTWARE DESIGN OF DIGITALIZING UNDERWATER VIDEO SIGNAL USING TMS320C50

XU Ru¹ XU Jun¹ WANG Qing-Chi²

(¹Department of Electronic Engineering, Xiamen University 361005)

(²Department of Oceanography, Xiamen University 361005)

Received: Oct. ,7,1998

Key Words: DSP interrupt trigger, shadow register, compress and code, method of searching table

Abstract

We use DSP chip-TMS320C50 to construct a system of digitalizing underwater video signal to solve the information

source coding problem of transmitting analog video signal in the complex underwater acoustic channel. The software is designed by using C50's assemble language. It makes full use of the shadow register of C50. The horizontal and vertical sync generate the No 1 and 3 interrupts of C50 respectively to accomplish real-time gathering video signal. It can finish DCT (Discrete Cosine Transform) for a 8×8 sub-block in $128 \mu\text{s}$ using the method of searching table. The technology we used in this software enable our system digitalize analog video signal, processes gathered data and transfers the processed data in limited time even for high density image ($64 \text{ K} \times 8\text{bit}$).