维普资讯 http://www.cqvip.com

在嵌入式单片机中实现高分辨率数字图像的实时采集与压缩编码

杨维剑

(重庆大学计算机学院　重庆 400044)　(四川理工学院　自贡 643000)

摘　要　本文主要论述了在嵌入式单片机中实现对高分率数字图像(102×768)的实时采集的硬件设计和如何在嵌入式单片机实现将数字图像压缩成 JPEG 格式算法的具体实现方法,给出了在图像压缩算法中离散余弦变换(DCT)函数、Huffman 编码函数等关键函数,并对其算法加以改进使其适合在嵌入式单片机上运行,对其复杂性进行了可靠的分析。

关键词　图像压缩,DCT Huffman,数字图像,JPEG,嵌入式单片机

1　前言

目前实现图像压缩的方法很多,但是主要集中在 DSP 和 PC 机中进行,而在嵌入式单片机中的实现数字图像压缩,则主要存在内存容量和计算速度两大问题。随着嵌入式单片机技术和存储技术的发展,在嵌入式单片机中实现数字图像的实时采集与压缩成为可能。由于数字图像的数据量很大,远距离成像、传输等就必须对其进行压缩编码。利用嵌入式单片机实现数字图像实时采集与压缩,提供高可靠性、高性价比的应用系统,不仅在军事侦察、抢险救灾、气象擦测等领域有着广泛应用,而且在工业检测领域(如外观在线检测、特殊图形检测等)、高温作业等领域有着更加广泛的应用。

2　硬件设计与系统实现

为了解决在嵌入式单片机中内存容量问题,我们设计了两片具有 8M 位的存储容量芯片 L4V8M440,该芯片是由 AVERLOGIC 推出的一款性价比较高的视频帧存储芯片,目前市场上 FIFO 的存储容量均比较小,包括该公司前几年推出的具有 3M 位容量的 AL422 系列 FIFO 芯片,也逐渐无法适应目前高分辨率视频技术的发展。L4V8M440 沿袭了 AL422B 的设计思想,从功能、容量、速度上比 AL422 均有显著提高。L4V8M440 具有 8M 位存储容量,可以满足 1024×768 以上高分辨率视频技术的需要,且存储速度可达 80MHz,具有异步读写时钟,用户可控的读写使能,输入输出使能及读写复位输入端口,可以通过 I2C 读写其内部寄存器控制读写初始地址,可以方便进行总线扩展。一片用于扇入,一片用于扇出。其硬件逻辑框图如图 1 所示。

为了解决速度问题,我们选取了 C8051F120 作为 CPU,Cygnal 公司推出高性能 8051 微控制器 C8051F120 系列产品,CPU 吞吐量达 100MIPS,具备两个周期 16×16 MAC,12 位 ADC 和 DAC,包括 128KB 闪存、8448KB RAM。

系统实现的关键是如何将图像芯片中的数据信息存储到图像扇入存储芯片,以及经过压缩后形成 JPEG 图像格式转存到图像扇入存储芯片。在本设计中图像芯片使用 OV3620/3610(OV3620/3610,是 Omni Vision Technologies , inc. 2005 年推出的高度集成、高分辨率(1024×768)、隔行/逐行扫描、CMOS 的彩色/黑白的图像采集芯片)。根据图像芯片的行时序和场时序[1],以及 L4V8M440 的读写时序[3],利用 OV3620/3610 的输出信号 PCLK、HREF、VSYNC; L4V8M440 的 WCK、WE＃、RCK、RE＃、OE＃等信号;嵌入式单片机[2]的 P1.1、P2.7、ALE、WR＃、RD＃等信号之间的逻辑关系如下:

$WCK = PCLK$; $RCK = ALE + \overline{WR\#} + \overline{RD\#}$;

$INT0\# = VSYNC$;

$WE\# = \overline{HREF} + VSYNC + P1.1$;

$RE\#/OE\# = RD\# + \overline{2.7}$;

从而实现了图像数据的扇入与扇出存储。

3　图像压缩

图像压缩的算法很多。我们选取比较流行的 JPEG 压缩标准进行压缩。基本 JPEG 编码器和解码器(基于 DCT)的结构如图 2 所示。其算法的基本思路是:DCT 函数通过把数据从空间域变换到频率域,从而去除数据的冗余度;量化器用加权函数来产生对人眼优化的量化 DCT 系数,同时熵编码器将量化 DCT 系数的熵最小化。

基本 JPEG 的编码方法为顺序编码。其步骤是:首先,将图像分为 8×8 的像素块,根据从左到右,从上到下的光栅扫描方式进行排序(如图 3 所示)。DCT 对 8×8 的像素块进行计算,再对 64 个 DCT 系数用均匀量化器进行量化,均匀量化表是根

维普资讯 http://www.cqvip.com

据心理听觉的实验得出的。这种均匀的标量量化表可以作为JPEG标准的一部分，但不是必须的。将DCT系数量化后，块中的系数再根据“Z”形扫描方式（如图所示）排序，得到的比特流用行顺序编码生成中间的符号序列，然后这些符号经过Huffman编码用于传输或存储。

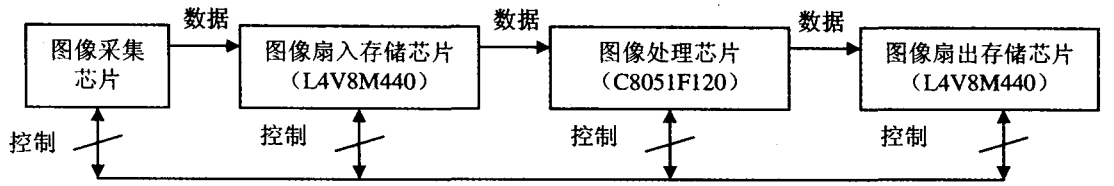
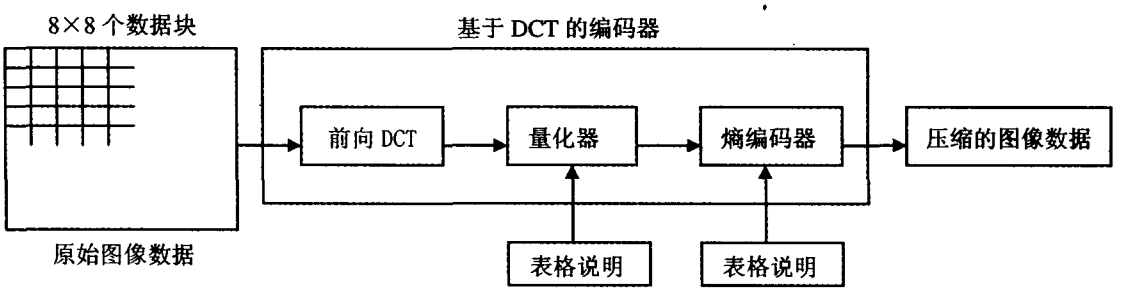
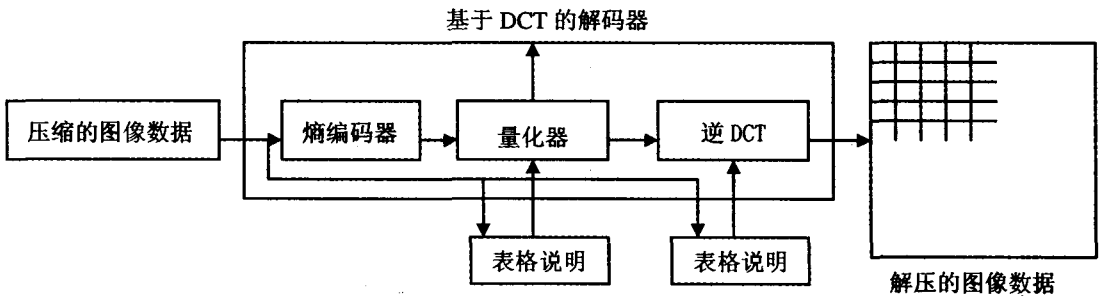


图1　硬件逻辑框图



（a）　JPEG编码器



（b）　JPEG解码器

图2　基于JPEG编码器和解码器（基于DCT）的结构

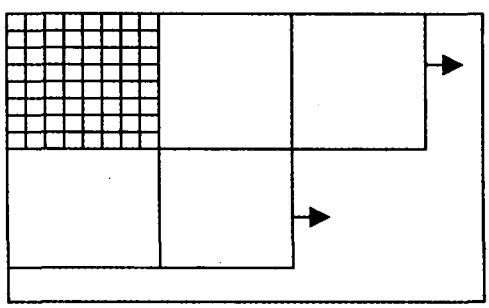


图3　将图像分成8×8的像素块

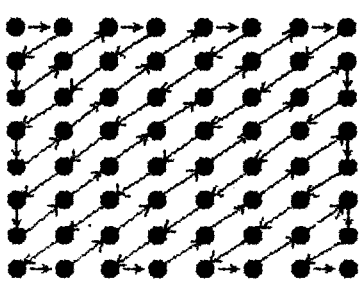


图4　“Z”行排列

在上面的叙述可以得出，基于DCT编码的JPEG压缩算法可由如下几个步骤实现：

- 颜色模式转换及采样；
- 正向离散余弦变换（FDCT）；
- 量化（Quantization）；
- Z字型编码；
- 使用差分脉冲编码调制（DPCM）对直流系数（DC）进行编码；
- 使用行程长度编码（RLE）对交流系数（AC）进行编码；
- 熵编码（Entropy Coding）。

在整个过程中，最为关键的编程技术是离散余弦变换（DCT）和Huffman编码。

3.1　离散余弦变换（DCT）

离散余弦变换（Discrete Cosine Transform，简称DCT）是一种与傅立叶变换紧密相关的数学运算。由于彩色图像由像素组成，这些像素具有RGB彩色值。每个像素都带有x，y坐标，对每种原色使用8×8或者16×16矩阵。在灰度图像中像素具有灰度值，它的x，y坐标由灰色的幅度组成。为了在

维普资讯 http://www.cqvip.com

JPEG 中压缩灰度图像，每个像素被翻译成亮度或灰度值。为了压缩 RGB 彩色图像，这项工作必须进行三遍，因为 JPEG 分别地处理每个颜色成分，R(Red 红)成分第一个被压缩，然后是 G(Green 绿)成分，最后是 B(Blue 蓝)成分。而一个 8×8 矩阵的 6 个值，每个值都带有各自的 x，y 坐标，这样就有了一个像素的三维表示法，称作空间表达式或空间域。通过 DCT 变换，空间表达式就转化为频谱表达式后频率域。从而达到了数据压缩的目的。

其二维 DCT 正变换的公式如下(采用 8×8 的块)：

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

DCT 的逆变换采用如下的公式：

$$f(i,j)=\frac{1}{4}c(u)c(v)\left[\sum_{i=0}^{7}\sum_{j=0}^{7}F(u,v)\cos\frac{(2i+1)u\pi}{16}\cos\frac{(2j+1)v\pi}{16}\right]$$

在上面的两式中：

$C(u),C(v)=1/\sqrt{2}$　　(当 u,v=0)

$C(u),C(v)=1$　　(其他情况)

f(i,j)表示位于(i,j)坐标处的像素函数(如亮度等)。这样经过正变换所得的结果就为 DCT 系数，其中的 F(0,0)称为直流系数(DC)，而其他的则称为交流系数(AC)。二维的离散余弦变换具有可分离性，所以其正变换和逆变换均可以将二维变换分解成一系列一维变换(行，列)进行计算。即：

$$F(u,v)=\frac{1}{2}C(u)\left[\sum_{i=0}^{7}G(i,v)\cos\frac{(2i+1)u\pi}{16}\right]$$和

$$G(i,v)=\frac{1}{2}C(v)\left[\sum_{i=0}^{7}f(i,j)\cos\frac{(2j+1)v\pi}{16}\right]$$

在上述的公式中，最为关键是用 51 汇编求余弦函数。传统求法是用 C51 求解或是用浮点数的方法求解。而我们采用定点小数求解余弦函数可大大加快计算速度。利用浮点数求解在主频 12MHZ 时约需 2.2ms，但用定点小数求解只需 250us，二者相差十倍。如用本文提出的 CPU 来处理，用定点小数求解只需 0.25us 左右。我们采用的求解公式如下：

$\cos x=\sin(\frac{\pi}{2}-x)$和 $\sin\frac{\pi}{2}x\approx x+(0.57036-(0.6425-0.07185x^2)\times x^2)\times x$。用三字节的定点小数加以实现，其精度完全达到 DCT 算法的要求。

3.2 Huffman 编码

Huffman 编码是一种比较经典的算法，是 1952 年由 Huffman 提出的一种编码方法。这种编码方法的主要思想是根据源数据符号出现的概率进行编码，出现概率越高的符号，分配以越短的编码，反之，分配以较长的编码，从而达到用尽可能少的编码符号表示数据源。该算法的步骤如下：

(1)概率统计(对一幅图像做灰度信号统计)，得到 n 个不同概率的信息符号；

(2)将信源符号按概率递减顺序排序；

(3)把两个最小概率想加作为新符号的概率，并按(2)重排；

(4)重复(1)、(2)，直到概率为 1；

(5)在每次合并信源时，将合并的信源分别赋“0”和“1”；

(6)寻找从每一信源符号到概率为 1 处的路径，记录路径上的“1”和 0；

(7)写出每一符号的“1”，“0”序列(从树跟到信源符号节点)。

可见在计算 Huffman 编码时，需要对原始图像扫描两遍：第一遍扫描要精确地统计出原始图像中的每个灰度值出现的概率；第二遍扫描是建立 Huffman 树并进行编码，进行数据压缩，形成 JPEG 图像数据。

因此我们在硬件设计中设计了两片 FIFO 芯片 L4V8M440，在具体实现的过程中，根据 FIFO 芯片的特点，我们每次从 L4V8M440 读入一定量的图像数据，经过 DCT 处理后存放在 C8051F120 的内部，同时对其进行统计，当 DCT 完成第一遍后，统计也就完成。第二遍时对其建立 Huffman 树并进行编码，进行数据压缩，形成 JPEG 图像数据存放在另一片 L4V8M440 中，从而完成了对整个图像数据的压缩和编码。

3.3 算法的复杂性分析

对于高分辨率的数字图像来讲，压缩编码算法主要耗费时间是对其的进行的离散余弦变换(DCT)函数、Huffman 编码函数等关键函数的耗费时间，对其改进起到了关键作用。尤其是在离散余弦变换(DCT)函数中的超越函数的计算。按照一幅 1024×768 像素的图像计算，用我们提供的方法，压缩计算时间约为 27.37ms 左右，加上 Huffman 编码函数等其它耗费时间，整个的运算时间在 39.37ms 左右；为整个系统的实时压缩提供了可靠的保证；使其每秒可以压缩这样的图像达到 25 帧。

结论　用以上的原理和方法，在钻井平台井下倾角测试系统中得到了很好的应用和实现了图像数据很好的压缩效果，具有很好的推广价值。

参 考 文 献

1 OV3610 Color CMOS QXGA (3.1 MPixel) CAMERACHIPTM. OMNIVISION TECHNOLOGIES, Inc. 2004

2 C8051F120/1/2/3//5/6/7 C8051F130/1/2/3 Data Sheet. Silicon Laboratories Inc. 2005

3 ALV8M0 Data Sheet. Aver Logic Inc. 2004

4 何立民. MCS-51 系列嵌入式单片机应用系统设计[M]. 北京航空航天大学出版社，1990

5 张益贞，等编著. Visual C++ 实现 MPEG/JPEG 编解码技术. [M]. 人民邮电出版社，2002