

文章编号:1000-582X(2003)04-0034-04

# JPEG2000 中的二进制算术编码及其 DSP 实现\*

罗 钧, 张国彬

(重庆大学 光电技术及系统国家教育部重点实验室, 重庆 400044)

**摘 要:**算术编码作为一种高效的数据编码方法在图像压缩中有广泛的应用。介绍了国际静态图像压缩新标准 JPEG2000 中的自适应二进制算术编码技术。算术编码的工程实现需要高性能信号处理器的支持,研究了在 TMS320VC5402 上实现二进制算术编码的快速算法及优化汇编程序设计,证明了其硬件算法的实用性和高效率。该技术可实现对图像压缩编码,在其他数据压缩领域也可以直接利用。

**关键词:**JPEG2000; 自适应二进制算术编码; DSP; 图像压缩

**中图分类号:**TN911.73

**文献标识码:**A

JPEG2000<sup>[1]</sup>是新近公布的静止图像国际压缩标准,有着非常广阔的应用前景。虽然当前互联网上的主流图片压缩格式还是 JPEG,但是 JPEG 在图像质量和压缩比上是无法与 JPEG2000 相比拟的。特别是最近 JPEG 标准核心技术专利拥有者要对 JPEG 的使用收费,这更会促进 JPEG2000 的普及, JPEG2000 一定会取代 JPEG 而成为主流图像压缩格式。它将成为未来数码相机中的主要图像压缩格式。JPEG2000 中用到了一种适于软硬件实现的快速自适应二进制算术编码。该算法是我们在开发数码相机图像压缩技术中必须实现的一部分。笔者将详细阐述其原理及在 DSP 上的实现方法。

## 1 二进制算术编码

算术编码<sup>[2-3]</sup>在图像数据压缩中扮演了重要的角色。在算术编码中,消息用 0 到 1 之间的实数进行编码。算术编码用到两个基本的参数:符号的概率和它的编码间隔。信源符号的概率决定压缩编码的效率,也决定编码过程中信源符号的间隔,而这些间隔包含在 0 到 1 之间。编码过程中的间隔决定了符号压缩后的输出。

二进制算术编码<sup>[4]</sup>为所编码的二进制数据段计算出一个编码区间,这个区间称为被编码数据段的码

字。编码的信源符号只有 2 个:0 和 1。在编码的过程中,输入数据流中的信源符号被分为大概率符号(MPS)和小概率符号(LPS)。概率区间分成两份,一份是 MPS 的编码间隔,一份是 LPS 的编码间隔。间隔的长度由每个信源符号的概率决定。LPS 的编码间隔应该总是小于 MPS 的编码间隔。编码器接收到消息必须是 MPS: True 或 MPS: False。把 LPS 的概率记作  $Q_c$ ,把 MPS 的概率记作  $P_c = (1 - Q_c)$ 。记待编码的数据段为  $s$ ,用  $[C, C + A]$  表示它的编码区间。

初始时,若  $s$  为空串,则码字  $C = 0$ ,编码间隔  $A = 1$ ;即空串的编码区间为  $[0, 1]$ 。若已知  $s$  的编码区间,则跟随  $s$  后的符号其编码按照如下规则进行迭代:

如果输入符号为 MPS: TRUE,则

$$C = C + (Q_c \times A), A = A - (Q_c \times A)$$

如果输入符号是 MPS: FALSE,则

$$C = C, A = A \times$$

在实际计算中  $C$  和  $A$  是用有限长的整型寄存器来存储的(把区间和概率小数映射为整数)<sup>[2]</sup>,概率可以用频率记数的办法得到<sup>[4]</sup>,即  $p(0 | s) \approx n(0, s)/n(s)$ ,  $p(1 | s) \approx n(1, s)/n(s)$ ;其中  $n(0, s)$  和  $n(1, s)$  分别表示二进制输入数据流  $s$  中 0 和 1 的个数,而  $n(s) = n(0, s) + n(1, s)$ 。图 1 是输入数据为 TFT 时的迭代描述图。

\* 收稿日期:2002-12-18

基金项目:重庆市信息产业局科技攻关项目(200113013)

作者简介:罗钧(1963-),男,重庆人,重庆大学副教授,主要从事智能仪器及系统和数码相机的研究。

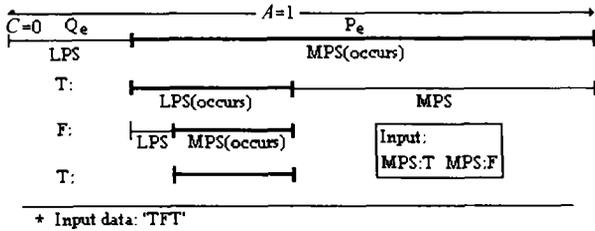


图 1 码字变化

## 2 JPEG2000 中的自适应二进制算术编码

JPEG2000 利用了一种特殊的高效统计二进制算术编码。这种算术编码是从 Q-Coder<sup>[4-5]</sup> 改进而来。图 2 是算术编码器的输入和输出。其中上下文 (CX) 和数据 (D) 对是由系数位模型<sup>[6]</sup> 产生的。编码器的输出是压缩数据流 (CD)。图 3 是算术编码器的详细流程图。其中初始化模块 Initialization 是编码开始的地方, 用来进行程序初始化, 设置初始编码间隔  $A = 0x8000$ 、码字  $C = 0$ 、移位计数器 CT。当 CT 减为 0 时, 即可输出一个字节的压缩数据。紧接着的编码模块 ENCODE 是算术编码器中最重要的部分。它对输入的 CX 和 D 对进行自适应的算术编码, 并输出压缩后的数据。最后的清理模块 FLUSH, 进行编码结束的输出生和写结束标志的工作。

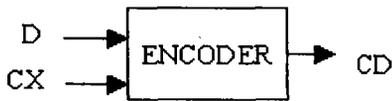


图 2 编码器图

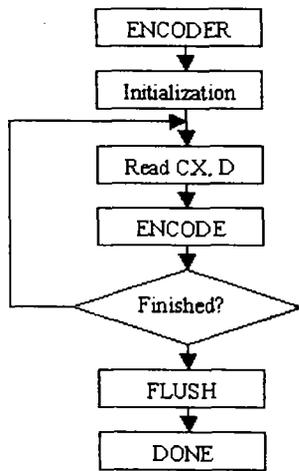


图 3 MQ 算术编码流程图

JPEG2000 中的算术编码着重解决了以下问题。

### 2.1 去除乘法运算

在 JPEG2000 的算术编码中, 通过及时的重整

(renormalization) 操作, 编码间隔  $A$  始终保持在区间  $[0.75, 1.5]$  之间。这意味着, 如果四舍五入的话, 编码间隔总是约等于 1。因此,  $(Q_e \times A) \approx Q_e$ 。算术编码的迭代公式简化为:

如果输入符号为 MPS:TRUE, 则

$$C = C + Q_e, A = A - Q_e.$$

如果输入符号为 MPS:FALSE, 则

$$C = C, A = Q_e.$$

这样, 在算术编码中就没有了乘法运算。简化了算术编码的实现。比采用位移逼近实现的无乘法编码<sup>[7]</sup> 更简单。

### 2.2 大概率符号的改变

从迭代公式可以看出, 如果有连续的 MPS 或 LPS 输入, 逐渐将会有  $A - Q_e < Q_e$ 。即 LPS 的概率间隔超过了 MPS 的概率间隔。这时 LPS 和 MPS 所代表的信源符号需要互换, 以确保 MPS 代表的信源符号的概率大于 LPS 代表的信源符号的概率。

### 2.3 自适应算术编码: 概率估计

在 JPEG2000 的算术编码过程中, MPS 和 LPS 的概率是自适应的。通过一种查表的方式, 对每个输入的 CX 和 D 对, 都可以找出当前的  $Q_e$  的值。JPEG2000 根据系数位的一种统计模型可以产生 19 种编码上下文 (CX)<sup>[8]</sup>。根据这些上下文可以利用索引进行查表以获取  $Q_e$ 。这个表是结合理论和经验得出的。初始时假定上下文的 MPS 为 0。

### 2.4 有限精度

随着算术编码的进行,  $C$  和  $A$  中的小数的位数将会越来越多, 即小数的精度越来越高。有限的寄存器位数使编码难以向下进行。为了解决这个问题, 采用了移位重整算法。在 JPEG2000 中, 十六进制整数  $0x8000$  代表小数 0.75。这样, 当整数  $0x8000$  左移一位时, 它所代表的小数变成 1.5, 右移一位时, 则代表 0.375。每当编码间隔  $A$  小于  $0x8000$  时, 通过  $A$  的左移可以使  $A$  保持在区间  $[0.75, 1.5]$ 。这样就可以用固定位数的寄存器来存储  $A$ , 解决了有限精度的问题。

为了保持  $A$  和  $C$  有统一的尺度。每次  $A$  左移一位,  $C$  也左移一位。因为  $C$  中存储的是编码的结果, 这就需要有一个缓冲区来保存从  $C$  中移出的数据位。这里使用了一个寄存器  $B$  指向  $C$  寄存器的高位, 如图 4。每当  $C$  寄存器满, 就从  $B$  寄存器把一个字节的数据输出到外面的压缩数据流中。

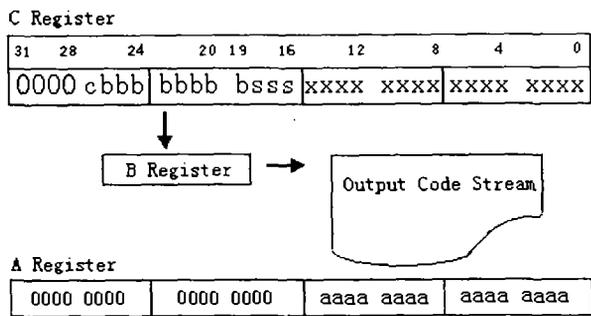


图 4 算术编码中的寄存器和输出流

2.5 码字进位传递的处理

每当编码一个大概率符号(MPS)时,有  $C = C + Q_c$ 。即小概率符号(LPS)的概率要加到码字C上。这就可能在C中产生一个进位。如果这个进位传递到已经输出的压缩数据流中,就需要改变以前输出的数据,这是相当困难的。在JPEG2000中,为解决这个问题,用到了寄存器B和一种称为位填充<sup>[1]</sup>的技术。

从寄存器C中移出的一个字节,在送入外面的压缩数据流之前,保存在寄存器B中。移位计数器CT,记录C中数据左移的位数。当CT记数减到0的时候,存储在B中的数据输出到压缩数据流中,然后从寄存器C的高位移出一个字节到寄存器B,如图4。X代表寄存器C中因为的  $Q_c$  加入而增加的小数位,s是为进位的传递而预留的空位,b是要从寄存器C转移到寄存器B的数据位,c代表进位位。对寄存器B的操作遵循位填充机制:

- 1) 如果  $B \neq 0XFF$ , 并且进位位  $c = 0$ , 则

把寄存器B中的数据位转移到输出数据流,把寄存器C中的第19到26位的数据转移到寄存器B,置  $CT = 8$  使下一次的输出也是8位数据。

- 2) 如果  $B = 0XFF$ , 则

把寄存器B中的数据位转移到输出数据流,把寄存器C中包括进位的第20到27位的数据转移到寄存器B,置  $CT = 7$  使下一次输出包含本次留下的第19位。

- 3) 如果  $B \neq 0XFF$ , 并且进位位  $c = 1$ , 则

寄存器B中的数据加1,置进位位  $c = 0$ 。检测寄存器B,如果  $B \neq 0XFF$ , 遵循规则(1), 否则, 遵循规则(2)。

按照上面的位填充机制,在解码的时候,解码器检测所有的数据为0XFF的字节后面的第一位,如果这一位是1,则解码器知道这里产生了一个进位。

3 算术编码在DSP上的实现

TMS320VC54X 系列 DSP 是德州仪器公司(TI)推出的高性能、低功耗和低价格的16位定点高速数字信号处理器(DSP)。采用改进的哈佛结构,程序与数据分开存放,内部有8条高度并行性的总线。片上集成有在片的存储器和在片的外设以及适合复杂算法等专门用途的硬件逻辑。功能强大的指令系统使该系列芯片具有很高的处理速度和广泛的应用实用性。TMS320VC5402(以下简称C5402)的运行速度为100MIPS,工作电压3.3V,片内有16KRAM和4KROM。

DSP中实现了对给定的CX和D对序列的自适应算术编码。实现环境是CCS C5000 1.20和C5402实验板。事先把数据写到固定的文件格式中,在程序中适当的位置设置探针(Probepoint)[03],通过CCS的文件输入输出功能把数据传送到DSP芯片进行算术编码并把结果数据送回计算机。为了提高程序的运行效率,对数据序列的算术编码代码用汇编编写,而主程序用C语言写。主程序的功能是组织数据的输入和输出,调用汇编程序进行算术编码。

因为程序比较长,这里仅给出了部分汇编代码(优化后的MPS编码):

```

DLD *SP(4),A ; 把 QeI 放到累加器 A 中
DRSUB *(_A),A ; 编码间隔 A -= QeI
DST A, *(_A) ; QeI 是当前 LPS 的概率
LD #32768,A
DSUB *(_A),A
BC L13,AGT ; 编码间隔 A >= 0x8000?
DLD *SP(4),A
DADD *(_C),A,A
DST A, *(_C) ; 码字 C += QeI;
B L20
L13: DLD *SP(4),A
DSUB *(_A),A
BC L14,AGT ; if (A >= QeI)
DLD *SP(4),A ;
DADD *(_C),A,A ; 码字 C += QeI;
DST A, *(_C)
B L15
L14: DLD *SP(4),A ; A = QeI
DST A, *(_A)
    
```

L15: LD \*SP(3),#1,A

STLM A,AR1

NOP

NOP

DLD \*AR1(\_NMPS),A

DST A,\*SP(2);I = NMPS[I],查表

CALL #\_Renorme;调用重整函数

可以看出,在这种自适应算术编码算法中只有加减操作和移位操作,没有大量占用硬件资源的乘除操作。从上面的代码分析得出,编码一个MPS或LPS的运算需要大约40个指令周期。因此在指令周期为10ns的C5402上对一个1M大小的二进制数据流进行算术编码,仅需0.4s。此代码再经过优化后,可进一步提高运行效率。

#### 4 结 论

本文介绍了JPEG2000中的自适应二进制算术编码算法,以及该算法在DSP上的实现。自适应算术编码是静态图像压缩国际新标准中数据编码技术的基础,具有相当的复杂性和技巧性。文中对该算法在高速数字信号处理硬件中的运行情况进行了分析,证明该算法是一种高效的适合硬件操作的编码技术。该技术可以作为新型数码相机中图像压缩技术的一部分,也可以应用于其他需要快速数据压缩编码的领域,如网络自适应传输,远程医疗等。

#### 参考文献:

- [1] ISO/IEC, ISO/IEC 15444 - 1, Information technology - JPEG 2000 image coding system - Part 1: Core coding system[S].
- [2] KENNETH R. CASTLEMAN. 数字图像处理[M]. 朱志刚, 林学阎译. 北京:电子工业出版社,2002.
- [3] GLEN G, LANGDON JR. An Introduction to Arithmetic Coding[J]. IBM Journal of Research and Development, 1984, 28(2):135 - 149.
- [4] PENNEBAKER W B, MITCHELL J L, LANGDON G G, et al. An Overview of the Basic Principles of the Q - Coder Adaptive Binary Arithmetic Coder[J]. IBM J Res Develop, 1988, 32(6):717 - 726.
- [5] PENNEBAKER J L, MITCHELL. Probability Estimation for the Q - Coder[J]. IBM Journal of Research and Development, 1988,32:737.
- [6] MICHAEL D, ADAMS. The JPEG - 2000 Still Image Compression Standard[Z]. University of British Columbia Vancouver, BC, Canada V6T 1Z4.
- [7] 赵风光,姜峰,沈立人. 无乘法二值算术编码及其应用[J]. 通讯学报,1998,19(11):82 - 88.
- [8] BRADY N, BOSSE F, MURPHY N. Context - based arithmetic encoding for compressing 2D shape sequences[J]. IEEE International Conference on Image Processing, 1997, 1(10):29 - 32.

## Adaptive Binary Arithmetic Coding on DSP

LUO Jun, ZHANG Guo-bin

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and System under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** As a kind of data compression technique of high efficiency, arithmetic coding is widely used in image compressing. This paper introduces the adaptive binary arithmetic coding used in the new international standard of still image compression named jpeg2000. The implementation of arithmetic coding depends on high power digital signal processor. Fast adaptive binary arithmetic coding and optimized assembly program design are discussed, and its practicability and efficiency are proved. It also can be used in other fields that need compressing data.

**Key words:** JPEG2000; adaptive binary arithmetic coding; DSP; image compression

(责任编辑 张小强)