第 3 卷 第 8 期
1998 年 8 月

中国图象图形学报
Journal of Image and Graphics

Vol. 3, No. 8
Aug. 1998

一种基于二值图象压缩编码前处理的新观点和新方法

刘子良　王航　王珂　陈贺新

（吉林工业大学信息学院，长春　130025）

摘　要　从数学角度出发，提出了一种方案：对在二值图象中影响 WBS 编码、块编码效率的黑直线段（铅直或水平），进行编码前的预处理，消除黑直线段。从而提高它们的压缩比。

关键词　二值图象，压缩比，二维标准化变换

1　引　言

目前基于二值图象压缩存储“工程图库”的设计是一个很重要的课题。然而，像集成电路图集、建筑工程图纸一类图象，较一般二值图象有一个十分显著的特征，那就是黑直线段较多，一般占整幅图象的 90%以上。在已有的二值图象编码方案中，主要的有：空白编码（WBS）、游程编码，国际传真 CCITT 编码和块编码等。对不同的图象特征，常采用不同的压缩方法，算术编码虽被公认为最优方案，但其编码复杂，故耗费时间较大。而空白编码、游程编码、块编码虽具有算法简单，速度快的特点，但它们对上述图象确很难奏效。原因是，这类编码遇到黑直线段（铅直或水平）时，它们不仅不能被压缩，反而增加了比特数。常用的游程编码一般来说可以大大去除二值图象的冗余度，但对垂直黑直线段较多的图象，不仅不能被压缩，反而增加了比特数。这限制了它们在上类图象编码中的应用。图象信息需要压缩，使平均码长更接近于原始图象的熵，这是一条原则。为此提出了一个新方法，就是采用前处理，消除其影响编码的黑直线段，然后进行图象编码，从而提高编码效率。且这种变换是可逆的、不失真的。

2　基本思想

若把二值图象的某一行（或某一列）线段，看成为一个有序的二进制数，则可以表示为：

$$N = a_{n-1}2^{n-1} + a_{n-2}2^{n-2} + \cdots + a_0$$

或　$$N = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_0$$

其中 $a_i \in \{0,1\}$。如果把 a_i 的取值范围扩大到 $a_i \in \{-1,0,1\}$，且用“$\bar{1}$”表示“-1”，就可以用最少个非零系数 a_i 表示二进制数 N。

例　设一个黑直线段表示为：

$$N = 1\,1\,1\,1\,1\,1\,1\,1 =$$
$$1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + \cdots + 1 \times 2^0 =$$
$$2^8 - 1 = 100000000 - 1 = 10000000\bar{1}$$

若二值图象背景为白，编码用“0”表示、黑象素编码用“1”表示，不难看出，经等值变换后黑直线段被消除了。这是变换的基本思想。

3　二维标准化变换

3.1　数学模型

通常，在二维空间上任意一幅二值图象均可表示为：$\boldsymbol{F}_{m\times n} =$

$$\begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,n-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,n-1) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f(m-1,0) & f(m-1,1) & \cdots & f(m-1,n-1) \end{bmatrix} =$$
$$[f(i,j)]_{j=0,1,\cdots,n-1}^{i=0,1,\cdots,m-1}$$

其中 $f(i,j) \in \{0.1\}$。若令：

$\boldsymbol{ROW}_i = (f(i,0), f(i,1), \cdots, f(i,n-1))$ 表示 $\boldsymbol{F}_{m\times n}$ 的行向量；

收稿日期：1998-02-16；收到修改稿日期：1998-04-23

$VOL_J=(f(0,J),f(1,J),\cdots,f(m-1,J))$ 表示 $F_{m\times n}$ 的列向量，则二值图象又可表示为：

$$ROW_i=f(i,0)\times 2^0+f(i,1)\times 2^1+\cdots+f(i,n-1)\times 2^{n-1}=\sum_{j=0}^{n-1}f(i,j)\times 2^j$$

$$VOL=f(0,j)\times 2^0+f(1,j)\times 2^1+\cdots+f(m-1,j)\times 2^{m-1}=\sum_{i=0}^{m-1}f(i,j)\times 2^i$$

3.2 标准式的编码规则

设某一行（或某一列）线段为一个有序二进制数 N，且 $N=a_n2^n+a_{n-1}2^{n-1}+\cdots+a_0$。

规则 1 如果 $a_i=-a_{i+1}\neq 0$，则 $a_i2^{i+1}+a_i2^i=a_{i+1}2^i$，结果非零点系数减少 1 个。

规则 2 如果 $a_i=a_{i+1}$，则 $a_i2^{i+1}a_{i+1}2^{i+1}+a_i2^i=a_{i+1}2^{i+2}$，此时 2^{i+1} 项的系数为 0。

规则 3 “进位项”$a_{i+1}2^{i+2}$ 与原有的 $a_{i+2}2^{i+2}$ 项合并（相加）。

（1）若 $a_{i+2}=0$，则 2^{i+2} 项的系数为 1；

（2）若 $a_{i+2}=-a_{i+1}$，则两项相消 $a_{i+2}=0$，即 2^{i+2} 项系数为 0；

（3）若 $a_{i+2}=a_{i+1}$，则 $a_{i+2}2^{i+2}+a_{i+1}2^{i+2}=a_{i+3}2^{i+3}$，即 2^{i+2} 项系数为 0，且其“进位项”$a_{i+3}2^{i+3}$ 与 $a_{i+3}2^{i+3}$ 项合并。

规则 4 重复规则 3，将这种进位方式一直传递到最高项，得到唯一的标准变换 $S(N)$。

假定一个二进制数 $A=a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_0=\sum_{i=0}^{n-1}a_i\cdot 2^i$ 且 $a_i\in\{0,1\}$，有 $A'=a'_na'_{n-1}\cdots a'_0=\sum_{i=0}^{n}a'_i\cdot 2^i$ 且 $a'_i\in\{-1,0,1\}$，则称 A' 为 A 的标准变换式，简称标准式。

如果标准式 A' 满足：

（1）$A'=A$

（2）对任意 i，且 $0\leqslant i\leqslant n-1$，有 $a'_i\cdot a'_{i+1}=0$，则对每个有序的二进制数 $A=\sum_{i=0}^{n-1}a_i\cdot 2^i$，则有且仅有一个标准变换式 $A'=\sum_{i=0}^{n}a'_i\cdot{}^{2^i}$

由于 a_i 的值域由 $\{0,1\}$ 扩大到 $\{-1,0,1\}$ 显然“$\bar{1}$”（即 -1）这个值计算机是无法表示的，那么，如何处理“$\bar{1}$”呢？考虑 $i:0\leqslant i\leqslant n-1$，有 $a'_i\cdot a'_{i+1}=0$。因此，A' 中相邻两项的组合有 3 种状态“00”、“10”、“$0\bar{1}$”，为此，我们将 3 种组合采用非续长单义编码分别表示为“0”、“10”、“11”。

规则 5 对 $S(N)$ 采用非续长单义编码，得到标准变换编码 $F(N)$。

例：$N=\overset{a_{15}}{0}00101111101111\overset{a_0}{1}$

由于 $a_0=a_1=1$，则 $a_1\times 2^1+a_0\times 2^0=a_1\times 2^2-a_0\times 2^0=2^2-2^0$，$2^2$ 和原有项 2^2 合并，得 2^3。又 $a_2=a_1=1$，$a_2\times 2^2+a_1\times 2^2=a_3\times 2^3$，又 $a_3=a_2=1$，则 $a_3\times 2^3+a_2+2^3=a_4\times 2^4$，继之 $a_4\times 2^4+a_3\times 2^4=a_5\times 2^5\cdots$ 其中 2^1 到 2^4 的系列为 0，中间结果为：

$N=000101111110000\bar{1}$

其中“$\bar{1}$”表示 2^0 的系数“-1”。接着从 a_5 开始按上述规则得到：

$N=0001100000\bar{1}0000\bar{1}$

按规则 4 最终得到标准式 $S(N)$：

$S(N)=0010\bar{1}00000\bar{1}0000\bar{1}$

按规则 5 得到标准变换式编码 $F(N)$：

$F(N)=0011100001100011$

我们称 $F(N)$ 为标准化变换式，简称标准式。

3.3 标准式 $F(N)$ 的解码规则

由标准式的编码过程及它所采用非续长单义码（0，10，11）的性质，可方便的得到其解码方法，具体解码规则如下：

规则 1 若 $a'_i=a'_{i+1}=1$，则令 $a'_i=1,a'_{i+1}=0$，并将 $i+2$，即 $i+2\rightarrow i$。

规则 2 若 $a'_i=0,a'_{i+1}=0$ 则令 $a'_i=1,a'_{i+1}=0$，并将 $i+2$，即 $i+2\rightarrow i$。

规则 3 若 $a'_i=0$，则令 $a'_i=0$，并将 $i+1$，即 $i+1\rightarrow 1$。

规则 4 重复规则 1～3 过程，直到 $i=n-1$。

我们称这个过程为 $F(N)$ 的逆变换。

4 二值图象标准式自动转换方法

4.1 基本原则

设 $F_{m\times n}=(VOL_0,VOL_1,\cdots,VOL_{n-1})=(ROW_0,ROW_1,\cdots,ROW_{m-1})^t$

正变换 先对 $F_{m\times n}$ 所有列向量 VOL_j，$j=0,1,\cdots,n-1$ 的标准化的正变换，得：

$F_{m\times n}=(VOL'_0,VOL'_1,\cdots,VOL'_{n-1})$ 然后再对 $F'_{m\times n}$ 的所有行向量 ROW'_i，$i=0,1,\cdots,m-1$ 做标准化的正变换，即得到二维标准式编码 $F''_{m\times n}$。

逆变换 按解码规则，先做行的逆变换，再做列

的逆变换，方向从右到左逐列进行。

4.2 转换方法的跳过横线规则

考虑到，若水平与铅直两黑直线段交叉，其交汇点 $f(i,j)$ 经列变换后它的值已变为“0”，即水平直线被分为两段，它将导致在行变换时，需要新的非零(0)位来表示其增加的端点，为此我们在做列的正变换时，采用“跳过横线规则”。

设第 j 列元素：

$\boldsymbol{VOL}_j=(f(0,j),f(1,j),\cdots,f(m-1,j))$ 或写成二进制序列：

$\boldsymbol{VOL}_j=f(0,j)f(1,j)\cdots f(m-1,j)$

其中，$f(i,j)\in\{0,1\}$

具体规则如下：

规则 1 对作标准化变换前，检查 $f(i,j)$ 左右两项的值，若：

$f(i,j-2)=f(i,j-1)=1$

或 $f(i,j-1)=f(i,j+1)=1$

或 $f(i,j+1)=f(i,j+2)=1$

则在做列变换时，可不考虑 $f(i,j)$ 这点是“0”或“1”，跳过 $f(i,j)$ 这一点，并保留该点的位置。

规则 2 然后按正变换规则实施行的正变换。

规则 3 行的逆变换，按解码进行，各行互不相关。

规则 4 列逆变换从最右一列开始，向左逐列进行。若：

$f(i,j-2)=f(i,j-1)=1$

或 $f(i,j-1)=f(i,j+1)=1$

或 $f(i,j+1)=f(i,j+2)=1$ 时，

则跳过这一点 $f(i,j)$。

5 实验与评价

我们以 8031CPU 与 8255 做 I/O 扩展口的电路为例，画面取 80 行、150 列，上下各取 2 空白行，左面取 6 列空白列，右面取 5 列空白列，按本文给出的自动转换规则，用 C 语言进行编程实验，对一幅电路扫描图象自动转换结果如图 1、2、3 所示。其中图 1 为原始扫描图象，图 2 为图 1 经过列变换后得到图象，图 3 为图 1 的经过二维标准化变换后得到的图象。

经块编码压缩后的恢复图象与图(1)、(2)完全相同，限于篇幅略。整个压缩过程为无损压缩。

采用二维块编码方法时，对于某一级 $N\times N$ 图象块，其编码此特率为 $b_p'=1-P_w+1/(N\times N)$ 比特，P_w 表示此 $N\times N$ 图象为全白概率 P_w，从图不难看出，由于 P_w 增加，故块编码的比特率 b_p 降低，编码效率增加。

结果如表 1。

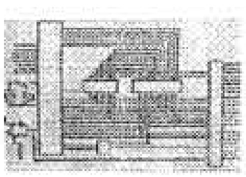

图 1 原始扫描图象

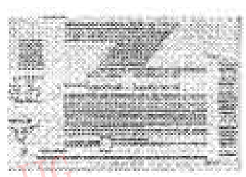

图 2 经列变换后得到的图象

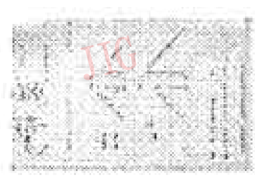

图 3 经二维标准化变换后的图象

为了便于比较，本实验还实现了游程长度编码、逗号编码以及国际 CCITT 编码，对未压缩文件采用直接压缩和二维标准化变换后压缩。

表 1 各种压缩编码经二维标准化变换前后压缩情况。

未压缩文件长度=25 204 字节				
	直接压缩		二维标准化变换后压缩	
	文件长度	压 缩 比	文件长度	压 缩 比
游程长度+逗号码	5 685	4.30	4 318	5.84
国际传真码 CCITT	6 370	3.96	5 649	4.46
WBS 码 $K=9$	9 221	2.73	6 336	3.98
块编码 $n=16,8,4,2$	6 778	3.72	4 063	6.20

6 结 语

本文所提供的前处理方案，由于消除了影响 WBS 编码，块编码的不利因素，因而提高了它们的编码效率，该算法对实现集成电路图集库，建筑工程图纸库一类的压缩存贮十分有利。同时也可以看出，该算法也增加了游程编码和 CCITT 编码的压缩比。

参考文献

1 姚庆栋，毕厚杰，王兆华等编著. 图象编码基础. 北京：人民邮电出版社，1984.

2 杨爵. 实用纠错编码. 上海铁道学院，1988.

3 张系国. 图象信息设计原理. 北京：科学出版社，1990.

4 Block coding of Graphics; A Tutorial Review. PLEEE，1980，68 (7).

5 Chang S K. Principles of Pictorial Infomation Systems Desin Prentice-Hall, Inc., 1989.

刘子良 吉林工业大学信息学院副教授，近年主要研究方向：数字图象处理与模式识别、分布式处理。主要著作有：《计算机组成原理》、《全国计算机等级考试(3 级 A)》、《全国计算机等级考试(3 级 B)》、《微机病毒及消除手册》和《计算机硬件基础》等。

A New Method of Biwary Image Compression

Liu Ziliang, Wang Hang, Wang Ke, Chen Hexin

(*Jilin University of Technology, changchun* 130025)

Abstract In this paper, an algorithm based on mathematics for improving the efficiency of WBS coding and block coding of binary image is presented. The basic principle is to eliminate the black straight line sectors (vertical or horizontal) by preprocessing them before encoding, the compression ratio is then increased.

Keywords Binary image, Compression ratio, Two-dimensional standard trasformation