

# 基于分块自适应预测的超声测井图象无损压缩编码

骆长江 俞能海 周亮

(中国科技大学电子工程与信息科学系,合肥 230027)

**摘要** 针对超声测井图象数据量较大,且要求实时传输的问题,提出了一种基于分块自适应预测的无损压缩编码方法。该方法首先对原图象分块,然后在每一子块内自适应选择预测方案,并进行DPCM编码,最后采用改进的LZW算法对差值图象进行编码输出。经过实验表明,该算法比较符合超声测井图象特点,其压缩倍数较现有无损压缩算法有很大提高,而算法复杂度没有明显增加,同时所需内存开销较小,因而特别适用于实时遥测系统。

**关键词** 无损压缩 超声测井图象 自适应预测

中图法分类号:TN919.81 P631.814 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2001)02-0168-04

## An Adaptive Predictive Coding Based on Image Segmentation for Lossless Compression of Ultrasonic Well Logging Images

LUO Chang-jiang, YU Neng-hai, ZHOU Liang

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

**Abstract** In recent years, image acquisition equipment has been widely adopted in the field of well logging. However, the data transfer rate of the logging system is limited by the transmission cables. Thus, data compression is necessary, but the common compression schemes were found to be not ideal for the well logging images, which have unique properties. In this paper, the properties of typical ultrasonic well logging images were studied and a suitable compression algorithm was proposed. Row and column correlation was found to be the major characteristic of the well logging images and 2-D correlation was not significant. Some subimages showed mainly row correlation and others showed mainly column correlation. According to this observation, an adaptive predictive lossless image compression coding based on image segmentation was proposed. An image is decomposed into blocks and pre-row or pre-column prediction is adaptively selected for every block to perform DPCM coding. An improved LZW algorithm is used to encode the prediction error. Experiments showed that this coding scheme was able to achieve higher compression ratios than lossless JPEG and JPEG-LS for the ultrasonic well logging image, while the complexity was comparable. The algorithm is self-adaptive and thus no code table is needed. Since every block is independently processed, the error propagation problem associated with normal DPCM coding schemes is avoided.

**Keywords** Lossless compression, Ultrasonic well logging image, Self-adaptive prediction

## 0 引言

近年来,随着测井技术的发展,测井设备向综合化、集成化方向发展,尤其是图象采集设备的大量采用,造成了测井数据的快速膨胀,而传输速率却受到测井电缆带宽的限制,因此有必要在测井系统中引

入数据压缩功能;另外,因为测井代价很高,采集到的图象资料很珍贵,所以一般需采用无损压缩方法,而现有的图象无损压缩方法,很多是基于DPCM编码方案的,例如,JPEG专家组制定的两种无损压缩标准都是基于DPCM编码的:其中一种是ISO 10918 (ITU-T T.81)中定义的JPEG无损模式(JPEG lossless mode)<sup>[1]</sup>,它是采用如图1所示的三邻域预测技术,

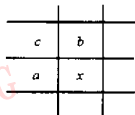


图 1 邻域预测模型

即用  $a$ 、 $b$ 、 $c$  处的象素值来预测  $x$  处的象素值;另一种是最近制定的 JPEG-LS 标准<sup>[2]</sup>,它要比 JPEG 无损模式复杂得多,虽然它也是采用图 1 的邻域预测技术,但是它引进了一种自适应的边界检测预测器(MED)来代替 JPEG 无损模式中的 8 种预测方案,同时它还采用了上下文相关的偏差估计和消除机制,从而使预测误差得到很好的控制。另外,对预测器输出的差值图象,还采用 Golomb 编码<sup>[2]</sup>处理。应该指出的是,虽然 JPEG 无损模式和 JPEG-LS 对一般图象压缩效果较好,但并不适合某些特殊应用,而且, JPEG-LS 中的偏差估计和消除机制以及 Golomb 编码都是有前提条件的<sup>[2,3]</sup>,它要求预测误差呈双边几何对称分布,且中心位于  $(-1, 0)$  之间。诚然,这种分布很普遍,但是针对某些特殊应用,这些限制会造成很大问题。另外,在研究超声测井图象的压缩方法时,也发现采用 JPEG 方法效果并不理想, JPEG-LS 甚至还造成数据扩散。

本文在研究了大量超声测井图象之后,发现了其分布规律。在此基础上,提出了一种新的算法,即基于分块自适应预测的压缩算法(Adaptive Predictive Coding Based on Image Segmentation),简称 APCIS 方法。实验表明,采用这一编码方法,压缩倍数明显高于传统的无损编码,而算法复杂度却增加不多,且编码速度很快。本算法已经在 16bit 定点 DSP ADSP-2181 上实现,且在全系统中运行良好。

## 1 基于分块自适应预测的超声测井图象无损压缩方法

### 1.1 超声测井图象特点

目前超声成像测井仪已广泛地应用于测井领域,它可以测量出井径,并能反映出井壁的腐蚀状况,使人们了解到油井内的介质分布<sup>[5]</sup>情况。一般超声测井图象分为时间图和幅度图两种,其中,时间图的数据是超声波从超声探头到井壁的往返时间,它可以反映井径分布情况,而幅度图的数据是从井壁反射回来的超声波的幅度,它可以反映井壁腐蚀情

况。一般对同一段井,时间图和幅度图是同时测量出来,并传到井上的,二者结合起来即可得出这段井的综合状况。图 2(a)是一幅典型的幅度图;图 2(b)是相应的时间图。

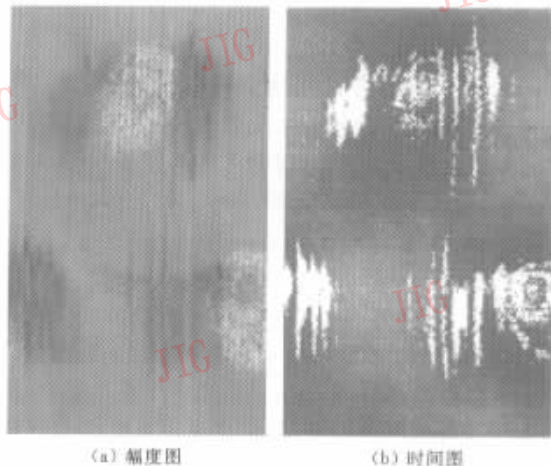


图 2 超声测井图象

在使用最小均方误差准则(MMSE)来推导最佳线性预测器<sup>[6]</sup>时,发现超声测井图象呈现明显的行相关性和列相关性,即图 1 中的当前象素  $x$  和前列象素  $a$  及前行象素  $b$  明显相关,而与  $c$  几乎不相关。而且在图象的各个局部又各有不同,即有的局部以前列相关为主,有的局部以前行相关为主。这一发现导致了分块自适应预测思想的提出。

### 1.2 基于分块自适应预测的无损压缩编码

APCIS 方法是首先对原图象进行分块自适应预测,然后对预测器输出的差值采用改进的 LZW 算法进行编码输出,其结构如图 3 所示。

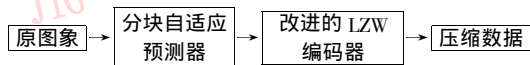


图 3 方法结构框图

#### 1.2.1 分块自适应预测器

由于通常差值图象的熵要比原图象低,并且其概率分布吻合零均值 Laplasian 分布,因此对差值图象的压缩能获取更高的效率。很显然,无损压缩的关键在于设计一个好的预测器,以便使差值图象的熵尽可能的小。

为了得到如图 1 所示的邻域预测模型的最佳预测系数,本文使用最小均方误差准则(MMSE)来推导最佳线性预测器。若设象素  $x$  的预测值为  $P(x)$ ,  $r_i$  为预测系数,则

$$P(x) = r_1 a + r_2 b + r_3 c \quad (1)$$

根据文献[6]中给出的 MMSE 推导方法,可得到下列方程组

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(aa) & R(ab) & R(ac) \\ R(ab) & R(bb) & R(bc) \\ R(ac) & R(bc) & R(cc) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} R(xa) \\ R(xb) \\ R(xc) \end{bmatrix} \quad (2)$$

解式(2)线性方程组,就能得到一幅图象的最佳邻域预测系数  $r_k$ . 选取由大庆油田、新疆塔里木油田生产油井采集到的数十幅超声测井图象作为训练集,训练得出时间图的预测系数为

$$r_1 = 0.594, r_2 = 0.356, r_3 = 0.05$$

幅度图的预测系数为

$$r_1 = 0.67, r_2 = 0.402, r_3 = -0.072$$

由此可见,当前像素  $x$  与前列像素  $a$  和前行像素  $b$  的相关性较强,而与左上方的像素  $c$  几乎不相关. 通过进一步分析图象的局部,发现无论是时间图还是幅度图,有的局部主要表现为以前列相关为主( $r_1 > 0.8, r_2 < 0.1$ ),有的局部则表现为以前行相关为主( $r_1 < 0.1, r_2 > 0.8$ ).

根据上面对超声测井图象的分析,设计出的分块自适应预测器如图4所示.

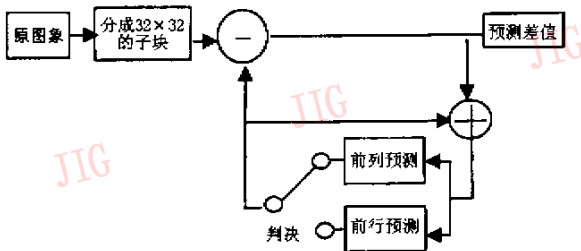


图4 分块自适应预测器

在对原图象进行预测时是先将原图象分成  $32 \times 32$  的子块(考虑到预测性能及井下设备的存储容量),并对每一个子块内的数据分别选用前列预测—— $P(x) = a$  和前行预测—— $P(x) = b$ ; 然后使用预测命中率来驱动判决开关,以输出优选预测方案的预测差值  $x - P(x)$ 。当预测差值为0时,说明预测值与真实值相等,则预测命中. 若差值为0的数量越多,则预测命中率越高. 实验表明,时间图中差值为0的占60%~90%;幅度图中差值为0的占50%~70%,而且考虑到后续LZW算法是对字符串进行编码,因此简单地比较预测命中率要比一般计算均方差值的方法更能反映预测性能的好坏. 实验表明,若编码采用预测命中率来进行判决,其压缩性能与均方差值判决基本相等或高2%~15%.

一般使用 DPCM 方法容易造成误码扩散,即当某一位因遭遇信道干扰而发生误码时会导致整个图象无法恢复. 本文提出的方法采用了类似 JPEG 有损模式的分块方法,由于对每一子块单独处理,从而使得大多数误差可以控制在一个子块内,这样不致造成灾难性后果.

表1列出了4组时间图和幅度图分别使用自适应预测器与 JPEG 无损模式预测器预测出的差值图象的熵. 从表中可以看出,分块自适应预测器的性能明显优于 JPEG,它能够显著降低原图象的熵.

表1 预测器性能比较 (单位: bit/pixel)

原图象	原图象的熵	JPEG 预测器	分块自适应预测器
幅度图1	5.13	5.00	3.71
时间图1	3.57	1.25	0.68
幅度图2	4.50	4.50	2.98
时间图2	4.30	1.72	0.81
幅度图3	5.88	5.16	3.59
时间图3	4.62	4.60	2.96
幅度图4	4.08	3.92	2.76
时间图4	4.52	1.64	0.76
平均	4.58	3.47	2.28

### 1.2.2 改进的 LZW 编码

经过分块自适应预测器的处理,原图象的熵值已经大为降低. 前面已经提到,过半数的预测差值为0,在这种情况下,若使用传统的 Huffman 编码,就不太适宜了,因为 Huffman 算法使用整数位编码,它对概率超过50%的符号也输出1bit码;而算术编码也由于算法复杂,压缩速度慢,故很难应用于实时压缩领域.

本文选用改进的 LZW 算法对预测器输出的差值进行压缩. LZW 算法<sup>[7]</sup>是基于字典的自适应方法,其压缩倍数和压缩速度都很高,而本文的改进 LZW 编码是对标准 LZW 编码的改进,它与 GIF 图象格式中所采用的算法策略相似,并结合了 BT LZ 算法(被选定为 CCITT v.42 bis 标准)的特点. 它动态输出代码长度,即开始输出9bit代码,并使用小字典,直到字典中增加了256个新词条之后,则输出10bit编码;若再增加512个新词条,则输出增加到11bit. 当字典填满时,需检测编码器的压缩比,一旦压缩性能变坏时,就清空数据字典,以便接受新词条. 实践证明,这种算法适合局部相关性强的图象数据.

由于差值图象的灰度分布已经很集中,因此虽

然受测井系统存储容量的限制,只能使用小规模的字典(字典占用14 802个 byte 的存储空间,只是通常算法的1/2~1/16),但仍可得到可观的压缩倍数.另外,由于LZW编码的速度高于自适应 Huffman 编码和算术编码,而且解码速度更快,因此,APCIS 算法很适合应用于实时遥测系统.

## 2 实验结果

实验选用的是大庆测井研究所提供的超声测井图象,这些图象全部采自大庆油田和新疆塔里木油田的生产油井,其时间图和幅度图都是 8bit 精度的灰度图.表 2 是两种 JPEG 算法(即使用 Huffman 编码的 JPEG 无损模式和 JPEG-LS 标准)与 APCIS 方法的压缩倍数比较,从表 2 可以看出,APCIS 方法明显优于 JPEG 系列算法.

表 2 几种算法的压缩倍数比较

图象	JPEG 无损模式	JPEG-LS	APCIS
幅度图 1	1.59	0.78	1.89
时间图 1	5.33	5.60	11.72
幅度图 2	1.80	1.03	2.44
时间图 2	4.37	3.88	9.22
幅度图 3	1.55	0.82	1.92
时间图 3	4.31	3.58	8.20
幅度图 4	2.03	1.13	2.63
时间图 4	4.53	3.22	10.02

## 3 结 论

本文对超声测井图象的无损压缩进行了研究,并提出了一种基于分块自适应预测的图象无损压缩编码方法.该方法从超声测井图象的特点出发,先将图象分成子块,并通过每一子块自适应选择预测器,再进行 DPCM 编码,然后采用改进的 LZW 算法对预测差值图象进行编码输出.实验结果表明,这种方法对超声测井图象的无损压缩倍数有了明显提高,而且对每一子块单独处理,因此还可防止一般 DPCM 方法常见的误码扩散问题.

## 参 考 文 献

- Gregory K Wallace. The JPEG still picture compression standard, IEEE Trans. Consumer Electronics, 1992, 38(1): 1834.
- Golomb S W. Run-length encodings, IEEE Trans. Information Theory, 1996, IT-12: 399401.
- ISO/IEC JTC1/SC29/WG1. FCD14495: Lossless and near lossless coding of continuous tone still image(JPEG-LS), 1997-07-16.
- Weinberger M J, Seroussi G, Sapiro G. LOCO-I: A low complexity lossless image compression algorithm, ISO Working Document ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N203, July, 1995.
- 景中起,吴志嫦.一种新的超声成像测井仪.测井技术,1987,(2).
- 吴乐南.数据压缩的原理与应用.北京:电子工业出版社,1994.
- Welch T A. A technique for high-performance data compression. IEEE COMPUTER, June, 1984: 819.

骆长江 中国科学技术大学电子工程与信息科学系高级工程师,数字信号处理研究室主任.主要研究方向为数据的实时采集与处理、测井仪器与测井系统研发等.

俞能海 1992 年获清华大学电子工程系硕士学位.现为中国科学技术大学副教授,在职博士生.目前主要研究方向为图象处理与模式识别、遥感与地理信息系统一体化技术、多媒体技术.已发表论文 10 余篇.

周 亮 1999 年获中国科学技术大学电子工程与信息科学系学士学位.1997 年参加“工程测井组合物”的研制直至毕业.现为华为公司北京研究所工程师.主要研究方向为图象编码、语音编码和 IP PHONE.