

用于无线内窥镜系统的高效、低复杂度的准无损和无损压缩算法

谢翔^① 李国林^① 王志华^②

^①(清华大学电子工程系 北京 100084)

^②(清华大学微电子研究所 北京 100084)

摘要: 为了降低无线内窥镜系统中无线通信的带宽以及无线发射的功耗, 该文提出了一种高效、低复杂度的基于类似 BAYER 彩色图像阵列的数字图像无损和准无损压缩/解压缩算法。通过对标准图像库中的 7 幅图像进行压缩的结果表明, 该文提出的压缩算法比常规先插值后压缩的算法以及先压缩后插值的算法均具有更高的压缩性能和更低的复杂度; 可实现对指定 ROI 区域实现无损压缩, 其它区域实现准无损压缩。算法对无线内窥镜图像进行压缩时, 可以获得平均图像压缩码率 2.18bit/pixel, 且 PSNR 大于 47.57dB。

关键词: 图像压缩; 无线内窥镜系统; 准无损压缩; JPEG-LS; BAYER 彩色图像阵列; 感兴趣区

中图分类号: TN911.73, R318.04

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)03-0616-06

A Low Complexity and High Efficient Near-lossless and Lossless Image Compression Algorithm for Wireless Endoscopy System

Xie Xiang^① Li Guo-lin^① Wang Zhi-hua^②

^①(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

^②(Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to decrease the communication bandwidth and save the transmitting power in the wireless endoscopy capsule, this paper presents a low complexity and high efficient near-lossless and lossless image compression algorithm for hardware design based on the Bayer format image. The algorithm can provide better compression performance and lower complexity than conventional interpolation-first methods and other existing similar compression-first methods. Moreover, the algorithm can provide lossless compression for the region of interest (ROI) and high quality compression for other regions. This algorithm can provide low average compression rate (2.18bit/pixel) with high image quality (larger than 47.57dB) for wireless endoscopic images.

Key words: Image compression; Wireless endoscopy system; Near-lossless image compression; JPEG-LS; Bayer color format array; ROI

1 引言

在无线内窥镜系统中, 为了减小通信带宽和节省图像数据的发射功耗, 一种低复杂度、高质量的图像压缩算法的应用是非常必要的^[1,2]。如图 1 显示了无线内窥镜胶囊内系统中简化的图像采集、压缩和无线传输系统的方框图。在无线内窥镜系统中, 彩色图像传感器采集的BAYER格式^[3]的内窥镜图像数据在进行彩色插值前将直接被压缩后通过信道编码由无线收发器发送到体外。而体外接收机把接收的图像数据经过解压缩后再进行彩色插值, 最后提供给医生作为最后的诊断图像。由于胶囊内采用两节氧化银电池进行供电^[1,2], 因此要求该图像压缩系统具有低复杂性, 以保证硬件开销低和低功耗。

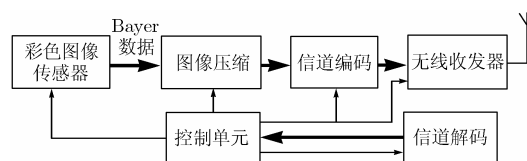


图 1 无线内窥镜胶囊内简化的图像压缩系统模型

在大多数图像传感器的常规应用中, 采集的原始彩色阵列的图像数据首先是通过插值处理后成为全彩色的图像然后进行后处理和压缩。图 2(a)显示了这种先插值后压缩的处理方法。然而该方法在压缩前先引入了冗余, 对压缩不利, 因此一些针对传感器原始彩色阵列图像数据直接进行压缩的改进方法在一些文献中被提出来^[4-8], 图 3(b)是这些先压缩后处理的原理方框图。这些新的压缩方法均证明了在彩色插值前对原始彩色阵列图像数据进行压缩, 能够保留更多的图像相关信息, 从而获得更高的压缩性能。而且当只对原始彩色图像数据进行处理时, 数据量只有插值后的三分之一, 硬件的存储量和计算复杂度都将大大降低。本文根据无线内

2005-08-18收到, 2006-01-05改回

国家863计划(2004AA1Z1100)和国家自然科学基金(60372021)资助课题

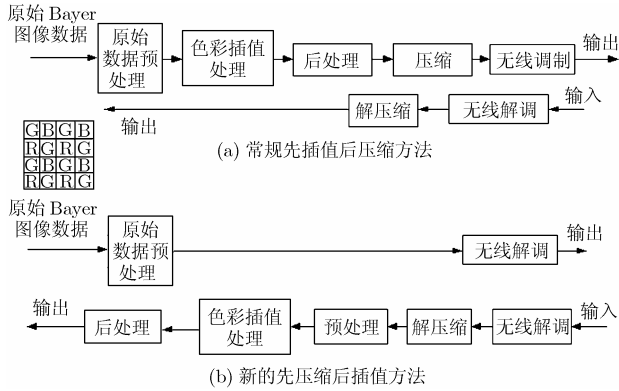


图 2 基于图像原始彩色阵列数据压缩方案

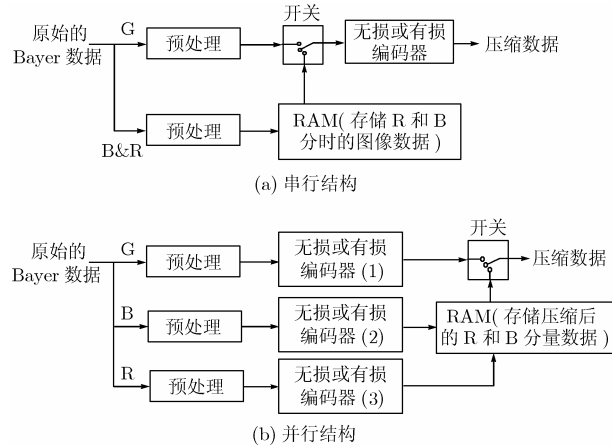


图 3 彩色分离压缩方法的

窥镜的设计要求和特点,提出了一个适合无线内窥镜的,基于先压缩后插值的低复杂度、高性能的无损和准无损的压缩算法。在本论文中,准无损压缩定义为:压缩后图像的峰值信噪比(PSNR)大于 49dB,同时每个像素点的最大误差不大于 2。该定义严格地保证了压缩后图像的质量。

文献[5-7]中提出的 3 种先压缩后插值的方法都只是为有损压缩而提出的,只有“几何旋转”方法^[6]和“结构转换”方法^[7]可以用于无损或准无损压缩中,但“几何旋转”方法的计算量比较大,而“结构转换”方法相对而言则比较合适。因此论文提出的算法将主要与该方法的压缩结果进行比较。

2 新的图像压缩算法

2.1 算法结构分析

对BAYER彩色阵列数据压缩方法可以分为两大类,一类是“直接压缩方法”,即对BAYER彩色阵列数据进行直接压缩。另一类是“彩色分离压缩方法”,主要考虑能充分利用 RGB 各色彩分量自身的相关性来提高压缩性能,目前一般文献中提出的有损压缩方法都属于第二类^[4-8]。第二类方法可以总结为图 3 所示的两类算法结构,即串行和并行结构。在串行结构中 3 个色彩分量将串行地被压缩,因此在压缩 G 分量时, R 和 B 分量的数据就必须被存储,直到 G 分量压缩完毕后才能陆续压缩 R 和 B 分量,该结构需要存储器存储一

半的图像数据。在并行结构中 RGB3 个分量将同时被压缩,因此只需要存储压缩后的 R 和 B 分量数据,所以该结构的存储器开销将小于串行结构,但该结构需要 3 个压缩编码器,硬件和功耗开销仍将比较大。如果只从压缩性能上考虑,显然“彩色分离压缩方法”要比“直接压缩方法”要好,相比“彩色分离压缩方法”将有非常大的硬件开销和功耗开销。所以从压缩性能、实现复杂度和功耗折中考虑,“直接压缩方法”更合适于无线内窥镜系统的要求。

2.2 提出的压缩算法结构

图 4 是本文提出的一种简单、高效的准无损压缩算法的结构。该算法结构属于“直接压缩方法”。该算法在进行无损压缩编码前需要对原始的 BAYER 数据进行预处理,它包括图像数据格式转换和低通滤波器,最后对预处理后的数据进行无损压缩编码。从算法的实现复杂角度分析, FELICS^[9] 复杂性是最低的,但本文在压缩性能与实现复杂度上折中考虑,选则了 JPEG-LS^[10] 作为无损压缩编码。

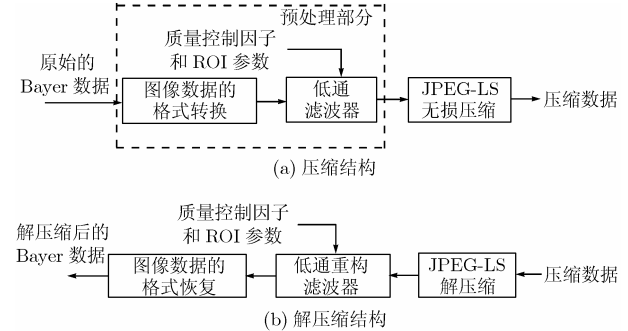


图 4 本文提出的新的准无损压缩算法结构

2.3 算法描述

2.3.1 BAYER 数据的格式转换 与插值后的全彩色图像数据相比较,从图像传感器输出的原始 BAYER 彩色阵列数据的水平和垂直方向上有更多的高频分量,因此对压缩不利。为了解决该问题,该算法首先进行了图 5 所示的图像格式转换。通过格式转换, BAYER 彩色阵列中呈梅花形状的 G 分量数据都被移至数据阵列的左边,这样能够大大降低 G 分量和 RB 分量混合在一起带来的高频分量。而且该格式转换的硬件实现中最多只需要缓存两行的图像数据。

G11	B12	G13	B14	G15	B16	G17	B18	G11	G13	G15	G17	B12	B14	B16	B18
R21	G22	R23	G24	R25	G26	R27	G28	G22	G24	G26	G28	R21	R23	R25	R27
G31	B32	G33	B34	G35	B36	G37	B38	G31	G33	G35	G37	B32	B34	B36	B38
R41	G42	R43	G44	R45	G46	R47	G48	G42	G44	G46	G48	R41	R43	R45	R47
G51	B52	G53	B54	G55	B56	G57	B58	G51	G53	G55	G57	B52	B54	B56	B58
R61	G62	R63	G64	R65	G66	R67	G68	G62	G64	G66	G68	R61	R63	R65	R67
G71	B72	G73	B74	G75	B76	G77	B78	G71	G73	G75	G77	B72	B74	B76	B78
R81	G82	R83	G84	R85	G86	R87	G88	G82	G84	G86	G88	R81	R83	R85	R87

图 5 BAYER 彩色阵列图像数据的格式转换

2.3.2 低通滤波器 该低通滤波器由两个简单滤波器组成,一个是水平滤波器,另一个是垂直滤波器。

(1) 水平滤波器 第 1 步进行如图 6 所示水平滤波操

作。图中采用的是一个 4×4 的图像矩阵作为例子。Y 代表彩色阵列中的未被滤波的原始数据；W 表示彩色阵列中将要被滤波的第 n 列数据；A 表示已经被滤波后的第 n 列数据。为了压缩后能够重构，在水平滤波中第 1 列数据将不被滤波。滤波操作是从第 2 列开始一直到最后一列。水平滤波过程可以表述下列递推公式，其中‘[·]’表示下取整操作。

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= [(Y + W_2)/2] \\ A_3 &= [(A_2 + W_3)/2] \\ &\vdots \\ A_m &= [(A_{m-1} + W_m)/2] \\ &\vdots \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

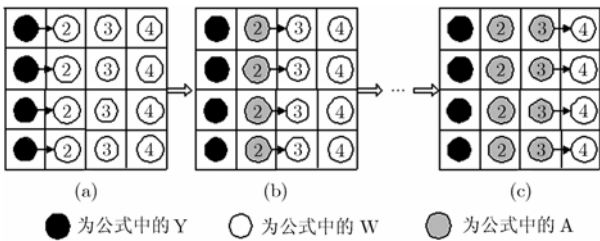


图 6 水平滤波操作过程

(2) 垂直滤波器 如图 7 所示是垂直滤波的操作过程。和水平滤波类似，图中 Y 代表彩色阵列中的未被滤波的原始数据；W 表示彩色阵列中将要被滤波的第 n 行数据；A 表示已经被滤波后的第 n 行数据。为了能够压缩后能够重构，在垂直滤波中，第 1 行数据将不被滤波。与水平滤波不同的一个是方向，另一个就是取整运算。垂直滤波过程可以下列递推公式描述，其中‘[·]’是上取整操作。

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= [(Y + W_2)/2] \\ A_3 &= [(A_2 + W_3)/2] \\ &\vdots \\ A_m &= [(A_{m-1} + W_m)/2] \\ &\vdots \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

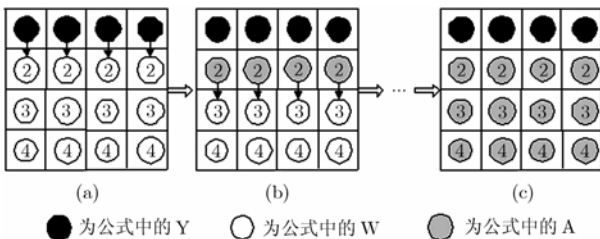


图 7 垂直滤波操作过程

因此通过上述的水平滤波和垂直滤波操作后彩色阵列的高频分量将被大大的降低。

(3) 重构滤波器 这两个低通滤波器均具有很好的重构性。其重构操作是先对垂直滤波器重构，然后是水平滤波器的重构。该重构过程均可用公式(3)表示。垂直重构时，公式中的序号表示行的序号；水平重构时，公式中的序号表

示列的序号。

$$\left. \begin{aligned} W_m &= 2 * A_m - A_{m-1} \\ W_{m-1} &= 2 * A_{m-1} - A_{m-2} \\ &\vdots \\ W_2 &= 2 * A_2 - Y \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

与常规先插值后压缩的方法比较，论文提出的准无损压缩算法所需要压缩的数据量将大大降低：只有一半的 G 分量，四分之一的 R 和 B 分量。因此该算法的计算复杂度将比常规压缩算法大大被降低。

2.4 误差分析

提出算法的误差产生根源是在低通滤波器中的横向和纵向滤波操作，也即式(2)和式(3)中的取整操作。在实际无线内窥镜系统中采用的是 8bits/pixel 的精度。水平滤波式(2)导致的误差 e_H 可以用式(4)表达，公式中 x 是一个 8bit 的整数。从该公式可知： $e_H = 0$ 或 1 。

$$e_H = x - 2 * \left\lfloor \frac{1}{2} * x \right\rfloor \quad (4)$$

同样垂直滤波公式(3)导致的误差 e_V 可以用式(5)表达。从该公式可知： $e_V = 0$ 或 -1 。

$$e_V = x - 2 * \left\lceil \frac{1}{2} * x \right\rceil \quad (5)$$

因此通过水平和垂直滤波后，总的误差可用下面式(6)描述。其中公式中的 $2 * \left(x_1 - 2 * \left\lfloor \frac{1}{2} * x_1 \right\rfloor \right) - \left(x_2 - 2 * \left\lfloor \frac{1}{2} * x_2 \right\rfloor \right)$ 部分是由于纵向滤波引入误差再通过横向重构滤波器扩大后的最终误差，而 $x_3 - \left\lfloor \frac{1}{2} * x_3 \right\rfloor$ 则是由于横向滤波引入的误差。因此通过式(6)可知低通滤波器总的引入误差将不会大于 2。

$$\begin{aligned} e_{H+V} &= \left| 2 * \left(x_1 - 2 * \left\lfloor \frac{1}{2} * x_1 \right\rfloor \right) - \left(x_2 - 2 * \left\lfloor \frac{1}{2} * x_2 \right\rfloor \right) \right. \\ &\quad \left. + \left(x_3 - 2 * \left\lfloor \frac{1}{2} * x_3 \right\rfloor \right) \right| \leq 2 \end{aligned} \quad (6)$$

通过对大量图像进行统计的结果，可以得到式(7)所示关于水平滤波器和垂直滤波器所分别引入误差的概率分布。

$$p_H(0) = p_H(1) = p_V(0) = p_V(-1) = 1/2 \quad (7)$$

结合低通滤波器的误差式(6)和水平和垂直滤波引入误差的概率分布，可以得出低通滤波器总的引入误差值的概率分布见下面公式(8)。

$$\left. \begin{aligned} p_{H+V}(0) &= p_V(0) * p_V(0) * p_H(0) + p_V(0) \\ &\quad * p_V(-1) * p_H(1) = 1/4 \\ p_{H+V}(1) &= p_V(0) * p_V(0) * p_H(1) + p_V(0) * p_V(-1) \\ &\quad * p_H(0) + p_V(-1) * p_V(-1) * p_H(0) + p_V(-1) \\ &\quad * p_V(0) * p_H(1) = 1/2 \\ p_{H+V}(2) &= p_V(-1) * p_V(0) * p_H(0) + p_V(-1) \\ &\quad * p_V(-1) * p_H(1) = 1/4 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

2.5 压缩图像的峰值信噪比分析

本文中压缩图像的峰值信噪比定义如下:

$$\text{PSNR} = 10\lg \left(\frac{255^2}{H \times W \sum_{x=1}^W \sum_{y=1}^H (I_1(x,y) - I_2(x,y))^2} \right) \quad (9)$$

式中 I_1 和 I_2 分别是原始 BAYER 阵列数据和解压缩后的重构数据的值, 其范围从 0~255, 图像高度是 H , 宽度是 W , x 和 y 是像素点的位置值。因此根据低通滤波器的误差概率分布公式(8)以及 PSNR 的定义式(9), 可以得出解压缩后的重构图像数据的理论上的 PSNR 值将是 46.37dB, 见式(10)。因此论文提出的准无损压缩算法在理论上不仅仅保证了解压缩重构后的每个像素点的误差值不超过 2, 同时也保证了解压缩重构后的图像 PSNR 大于 46dB。

$$\begin{aligned} \text{PSNR} &= 10\lg \{ 255^2 \times [1/(H \times W) \times \{p(1) \times (H \times W) \times 1^2 \\ &\quad + p(2) \times (H \times W) \times 2^2\}]^{-1} \} \\ &= 10\lg \left(\frac{255^2}{p(1) + p(2) \times 2^2} \right) = 46.37\text{dB} \quad (10) \end{aligned}$$

2.6 可调整的图像质量和压缩比

算法中可以通过控制滤波器的质量因子来选择要被滤波的像素点个数的多少来调整压缩后图像的质量和压缩比。在算法中被滤波的像素点占整个图像像素点的百分比, 将作为低通滤波器的输入参数, 即质量控制因子。如果把质量因子引入式(9), 可以得出可调整图像质量的公式(11)。公式中 q 表示质量因子, $q \leq 1$ 。当 $q=0$ 时, 表示无损压缩, PSNR 趋于无穷大, 当 $q=1$ 时, 表示所有像素点将全部被滤波, 此时 $\text{PSNR}=46.37\text{dB}$ 。因此该算法可以提供了 PSNR 从 46.37dB 左右到无穷大的调整。

$$\begin{aligned} \text{PSNR} &= 10\lg \{ 255^2 \times [1/(H \times W) \times \{p(1) \times (H \times W \times x) \\ &\quad \times 1^2 + p(2) \times (H \times W \times q) \times 2^2\}]^{-1} \} \\ &= 46.37 - 10\lg q \quad (11) \end{aligned}$$

在实际的应用中为了简化被滤波点的选择, 采用通过对滤波点的选择改为对滤波行或列的选择来调整压缩图像的质量。

2.7 感兴趣区处理

为了能够保证感兴趣区(ROI)图像数据的质量, 算法提供了能够对 ROI 进行无损压缩的处理能力。算法根据滤波器的输入 ROI 参数中包含的 ROI 位置和形状等信息对 ROI 内的点不进行滤波来实现对 ROI 的无损压缩。如图 8 给出了对一个 2×2 虚框所示 ROI 进行无损压缩的例子, 其中 G44, R45, B54 和 G554 个点将不被滤波。

3 试验结果和讨论

为了能够评估提出的算法的性能, 论文把该算法主要与

G11	B12	G13	B14	G15	B16	G17	B18
R21	G22	R23	G24	R25	G26	R27	G28
G31	B32	G33	B34	G35	B36	G37	B38
R41	G42	R43	G44	R45	G46	R47	G48
G51	B52	G53	B54	G55	B56	G57	B58
R61	G62	R63	G64	R65	G66	R67	G68
G71	B72	G73	B74	G75	B76	G77	B78
R81	G82	R83	G84	R85	G86	R87	G88

图 8 虚线框内是选择的 ROI

JPEG-LS, JPEG-LS 带 near 参数的准无损压缩算法进行比较。试验中 BAYER 彩色阵列的数据是通过标准图像数据库中经典的 7 幅真彩 24bit 的图像进行抽点来获取的, 图像包括: 'lena', 'baboon', 'airplane', 'house', 'lake', 'peppers' 和 'splash'等, 其尺寸均为 512×512 。表 1 列出了论文提出的算法和下列几种算法进行比较的结果。

(1) '本文中的算法($q=1$)': 本文提出的算法, 其中质量控制因子 $q=100\%$ 。

(2) '本文中的算法($q=0.264$)': 本文提出的算法, 其中质量控制因子 $q=26.4\%$ 。

(3) '本文中的算法($q=0$)': 本文提出的算法中的质量控制因子 $q=0$, BAYER 数据通过格式转换后直接送入 JPEG-LS 进行压缩, 也即实现整幅图像的无损压缩。

(4) 'JPEG-LS 的准无损压缩(near 参数是 2)': BAYER 数据直接被 JPEG-LS 准无损压缩编码器压缩, 其中 near 参数是 2, 即压缩后图像的每个像素点的误差值不大于 2。

(5) '文献[7]中的“结构转换”算法': BAYER 数据通过文献[7]中的结构转换滤波器滤波后再经过 JPEG-LS 进行无损压缩编码。

(6) 'RGR3 个分量分别进行压缩的方法': 采用图 3 所示 RGB3 个分量分别进行压缩的方法, 其中图像预处理部分采用论文中提出的低通滤波器。

对 7 幅测试图像进行压缩的结果表明, 本文提出算法的平均压缩码率达 3.6bit/pixel, 平均 PSNR 值达到 46.43dB, 且压缩后每个像素点值误差不会大于 2, 因此该算法保证了压缩图像的质量。

除了 RGB3 个分量分别进行压缩的方法的压缩性能比本文提出的压缩结果略好外(压缩码率低 3.4%, PSNR 基本相等), 但该算法的硬件开销会大大高于本文提出的算法。其它算法如 JPEG-LS 的准无损压缩算法、文献[7]中的“结构转换”算法均比本文提出算法的压缩性能要差。在 $q=0.264$ 时, 本文的算法压缩性能要高于文献[7]中的“结构转换”算法; 在 $q=1$ 时, 本文的算法压缩性能要高于 JPEG-LS 的准无损压缩算法: PSNR 提高了 1dB, 平均码率要降低了 24%。算法中用低通滤波器滤波($q=1$)比不用低通滤波器($q=0$)时码率要降低 33.6%, 这说明了该算法中设计的低通

表1 几种图像压缩算法的比较(标准图像库中的7幅图像)

	图像 (512×512)	airplane	baboon	house	lake	lena	peppers	Splash	平均值
本文算法($q=1$)	PSNR (dB)	46.3798	46.3875	46.4073	46.3996	46.3898	46.5354	46.5320	46.4331
	CR (bit/pixel)	2.9845	4.8923	3.4873	4.0380	3.5192	3.5344	2.7825	3.6054
本文算法($q=0.264$)	PSNR (dB)	52.2430	52.2738	52.3153	52.1542	52.2425	52.2296	52.2695	52.2468
	CR(bit/pixel)	4.0790	6.0030	4.4039	4.9568	4.3306	4.3844	3.5345	4.5275
本文算法($q=0$)	PSNR (dB)	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	CR (bit/pixel)	4.7071	6.8816	5.2397	5.9125	5.3632	5.3141	4.5685	5.4267
JPEG-LS 的准无损 压缩(near 参数是 2)	PSNR (dB)	45.1718	45.3809	45.1541	45.1337	45.1239	45.2419	45.2670	45.2105
	CR(bit/pixel)	3.0123	6.6935	3.9325	4.4080	4.8955	5.2372	4.8723	4.7216
文献[7]中的 “结构转换”算法	PSNR (dB)	49.4383	49.3839	49.3770	49.4189	49.3387	49.6115	49.5792	49.4496
	CR (bits/pixel)	4.3939	6.2935	4.8489	5.3734	4.7658	4.7416	3.9000	4.9024
RGR3 个分量分别 进行压缩的方法	PSNR (dB)	46.4160	46.3914	46.4328	46.4011	46.4099	46.5528	46.5374	46.4488
	CR (bit/pixel)	2.9669	4.7781	3.4221	3.9098	3.3040	3.3564	2.5938	3.4759

CR 表示压缩码率, ∞ 表示无穷大

表2 几种图像压缩算法的比较(6幅典型的无线内窥镜图像)

	图像(256×256)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	平均值
本文算法 ($q=1$)	PSNR (dB)	47.581	47.573	47.601	47.565	47.598	47.603	47.586
	CR(bit/pixel)	1.962	2.176	2.223	2.256	2.081	2.411	2.184
本文算法 ($q=0.264$)	PSNR (dB)	53.315	53.298	53.506	53.462	53.491	53.517	53.431
	CR(bit/pixel)	3.095	3.331	3.581	3.636	3.209	3.752	3.434
文献[7]中的 “结构转换”算法	PSNR (dB)	50.531	50.498	50.612	50.096	50.599	50.625	50.493
	CR(bit/pixel)	3.615	3.822	4.006	4.118	3.831	4.227	3.936
JPEG-LS 的准无损 压缩(near 参数是 2)	PSNR (dB)	46.387	46.734	46.736	46.219	46.581	46.592	46.542.2.313
	CR(bit/pixel)	2.1684	2.4118	2.1898	2.6311	2.0637	2.4152	
RGR3 个分量分别 进行压缩的方法	PSNR (dB)	47.821	47.703	47.900	47.935	47.683	47.728	47.795
	CR (bit/pixel)	1.904	2.135	2.107	2.273	2.005	2.318	2.123

CR 表示压缩码率, ∞ 表示无穷大

滤波器大大地降低了 BAYER 彩色阵列中的高频分量。试验结果表明从压缩性能和硬件实现复杂性的角度考虑, 本文提出的算法是最合适直接对 BAYER 彩色阵列图像数据进行无损压缩的算法。试验结果也证实了式(10)的正确性。

表2显示了对如图9中的6幅实际的典型无线内窥镜的胃肠图像进行压缩的算法比较结果。从表中同样可以看出本文提出的算法的压缩性能仍是高于JPEG-LS的准无损压缩算法和文献[7]中的“结构转换”算法。由于胃肠图像中的低频分量要多于前面的7幅测试图像, 因此算法对胃肠图像的压缩效果更好, 平均压缩码率是 2.18bit/pixel, 图像质量 PSNR=47.58dB。表2的试验结果也证明了本文提出的算法非常适合于无线内窥镜系统。

4 结束语

本文提出了一种适合于无线内窥镜系统的、低复杂度、高压缩性能的无损压缩算法。该算法是基于对BAYER彩色图像阵列数据直接进行压缩的思想。对标准图像库中的

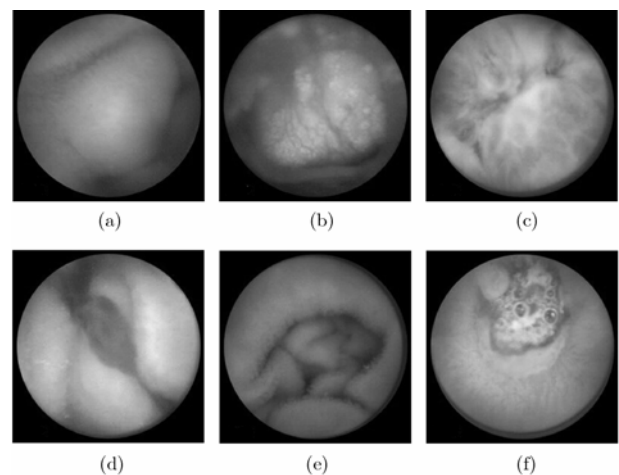


图9 6幅典型无线内窥镜的胃肠图, 图尺寸是256×256

7幅图像和6幅无线内窥镜图像进行压缩结果表明从压缩性能和硬件实现复杂性的角度考虑, 本文提出的算法是最合适直接对 BAYER 彩色阵列图像数据进行无损压缩的算法。

对 7 幅标准图像压缩结果表明该算法能够保证压缩后的图像质量 PSNR 大于 46.37dB, 而平均码率达到 3.6bit/pixel。而对 6 幅无线内窥镜图像压缩结果更好, 平均压缩码率是 2.18bit/pixel, 图像质量 PSNR=47.58dB。实现了对指定 ROI 区域实现无损压缩, 对其它区域实现准无损压缩等功能。本文提出的准无损压缩实现复杂度低、压缩性能高, 因此适合于无线内窥镜胶囊内的 ASIC 实现。该算法也易于实现与图像传感器的单片集成, 以用于其它对图像质量要求高的数字图像传感器领域。

参 考 文 献

- [1] Xie Xiang, Li Guo-lin, and Chen Xin-kai, *et al.* A novel low power IC design for bi-directional digital wireless endoscopy capsule system[A]. 2004 IEEE International Workshop on Biomedical Circuits and Systems[C] (BioCAS04), Singapore, 2004: S1.8.5–S1.8.8.
- [2] Xie Xiang, Li Guo-lin, and Chi Bao-yong, *et al.* Micro-system Design inside the Wireless Endoscopic Capsule[A]. 27th Annual International Conference of the IEEE Engineering In Medicine and Biology Society[C] (EMBS'05), Shanghai China, 2005.
- [3] Bayer B E. Color imaging array[P]. U.S. Patent 3,971,065, 1976.
- [4] Tsai Y T. Color image compression for single-chip cameras[J]. *IEEE Trans. on Electron Devices*, 1991, 38(5): 1226–1232.
- [5] Toi T and Ohita M. A subband coding technique for image compression in single CCD cameras with Bayer color filter arrays[J]. *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 1999, 45(1): 176–180.
- [6] Lee S Y and Ortega A. A novel approach of image compression in digital cameras with a Bayer color filter array[A]. *IEEE Int. Conf. Image Processing 2001[C]*, Thessaloniki, Greece, 2001, 3: 482–485.
- [7] Chin Chye Koh, Jayanta Mukherjee and Sanjit K. Mitra. New efficient methods of image compression in digital cameras with color filter array[J]. *IEEE Trans. Consumer Electronics*, 2003, 49(4): 1448–1456.
- [8] Battiato S, Buemi A, and Della L, *et al.* A fast vector quantization engine for CFA data compression[A]. In *Proceedings of IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing[C]*. NSIP 2003, Grado, Italy, 2003: 123–127.
- [9] Howard P G and Vitter J S. Fast and Efficient Lossless Image Compression[A]. *IEEE Data Compression Conference[C]*. Snowbird, UT, 1993: 351–360.
- [10] Weinberger M, Seroussi G, and Sapiro G. The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2000, 9(8): 1309–1324.

谢 翔: 男, 1971 年生, 博士生, 研究方向包括集成电路设计、图像处理、无线通信、生物医学电子学等。

李国林: 男, 1970 年生, 讲师, 研究方向包括无线通信、射频电路设计等。

王志华: 男, 1960 年生, 教授, 研究方向为电路与系统, 包括集成电路设计、数模混合信号集成电路的设计和测试、集成电路的计算机辅助设计、最优化设计等。