

一种用于数字图象传感器的彩色插值算法

刘晓松 杨新文 俊汪进

(上海交通大学图象处理与模式识别研究所, 上海 200030)

摘要 由于物理结构的限制, 单片 CCD 和 CMOS 彩色图象传感器在每个像素的位置上只能采集一个颜色分量, 其余两个颜色分量只能通过插值的办法得到. 鉴于通常的线性插值方法容易使图象的边缘变得模糊, 并可能出现较为明显的颜色失真, 而一些新方法尽管可以得到较高质量的插值图象, 然而运算的复杂性限制了它们的应用. 为此提出了一种在色差空间进行插值的算法, 以代替普通颜色空间的插值, 同时用基于有理函数的插值算子来代替普通的线性算子, 并通过后处理来进一步提高插值图象的质量. 由于色差空间的插值考虑了不同颜色分量间的耦合性, 并利用了有理函数插值算子固有的边缘自适应特性, 因而得到了较好的效果. 该方法另外的一个优点是计算速度较快. 实验结果表明, 该算法是有效的.

关键词 计算机图象处理(520·6040) 图象传感器 彩色插值 颜色空间 彩色滤波阵列 有理函数
中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)05-0516-06

A Color Interpolation Method for Digital Image Sensors

LIU Xiao-song, YANG Xin, WEN Jun, WANG Jin

(Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Abstract Due to the physical structure of single-chip CCD or CMOS color image sensor, there is only a single color component at each pixel position. As a result, color interpolation or color demosaicing is required to reconstruct the other two color components. General linear interpolation method may blur the image edge, and introduce color artifacts near edges. Although state-of-art methods may increase image quality, the computational complexity limits their applications. This paper presents a novel color interpolation method. It effectively increases the quality of interpolated images in three ways. At first, it performs interpolation in color difference space rather than in normal color space. Secondly, it introduces Rational Functions (RF) based operator instead of linear operator. And at last, a post-processing step is employed further to enhance the image quality. Because interpolation in color difference space takes into account the correlations between each color components, and RF based operator is edge-adaptive, this is the reason why the image quality can be improved using this method. In addition, this method is simple and calculating efficient in contrast to some of the state-of-art methods. The experiments compare PSNR and PESNR as while as MSE with the other three methods at the end of this paper.

Keywords Computer image processing, Image sensor, Color interpolation, Color space, Color filter array, Rational function

0 引言

近年来, 数码相机和数码摄像机在消费电子和工业领域的应用越来越普及. 然而由于物理结构的限制, CCD 和 CMOS 彩色图象传感器在一个像素上只能采集 RGB 颜色的一个分量, 并且是通过使用彩色滤波阵

列(Color Filter Array, 或称 CFA)来实现的. 为了恢复出另外两个颜色分量, 必须使用插值的方法, 通常称这种插值为彩色插值(Color Interpolation)或者彩色去马赛克(Color Demosaicing)处理. 目前存在多种彩色滤波阵列模式(CFA patterns)^[1](如图 1 所示). 由于 Bayer 彩色滤波阵列应用更为普遍, 本文将对这种彩色阵列的插值算法进行研究.

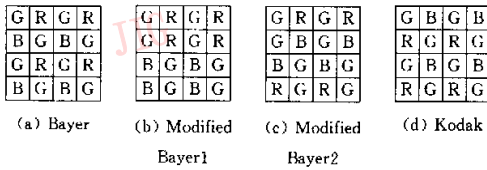


图1 几种彩色阵列模式

通常的彩色插值方法有最近邻法(Nearest neighbor),双线性法(Bilinear),双立方方法(Bicubic)和基于样条的插值方法(B-Spline)^[2]。早期的系统由于硬件条件(存储器容量和处理器的计算速度)的限制,倾向于采用算法简单、运算速度快的插值方法。这正是上述算法得以广泛应用的原因。尽管有上述的优点,但用这些方法插值得到图象的质量并不理想,主要是图象边缘的失真比较明显,包括边缘模糊效应和颜色失真效应。

近年来,很多学者提出了相对复杂的算法,以提高插值图象的质量^[1,3-6]。由于这些方法都利用了各个颜色分量之间很强的关联性,因而得到的插值图象的质量也有不同程度的提高。

在文献[9]中,作者提出了一种被称为Mondriaan的彩色图象模型,根据这种模型可以推导出在一幅图象中,各个颜色分量的比值几乎保持恒定。根据这个特点,文献[3]提出了一种颜色比空间的彩色插值算法。这种方法分如下两步进行:首先在颜色比空间进行线性插值,即分别在红和蓝像素上得到 R/G 以及 B/G ,进而恢复出绿分量 G ,然后再用类似的方法恢复出红分量 R 和蓝分量 B 。

与上述方法不同,文献[4]的方法是在颜色差空间进行线性插值,即用 $R-G$ 和 $B-G$ 代替 R/G 和 B/G ,这种方法的理论根据是文献[10]提出的彩色图象模型。这两种方法都比较简单有效。

文献[5]首先提出了一种基于协方差特征的通用图象插值算法,并把这种方法应用于彩色插值领域。这种方法的主要思想是用基于协方差特征的插值来代替线性插值,由于这种方法具有良好的边缘自适应特性,从而获得了比普通的基于色差空间的线性插值方法更好的效果。其缺点是计算量比较大。

为了进一步减小小图象边缘的颜色失真,在文献[3]、[4]的基础上,文献[6]、[7]通过增加颜色校正过程进一步降低了边缘的颜色失真。文献[5]又提出了一种简单的方向算子,即首先根据方向算子求出适应于边缘位置和方向的插值系数,并通过颜色比空间的插值方法来得到初始的插值图象;继而用迭

代的方式进一步降低边缘的颜色失真;最后还通过一种被称为逆扩散(Inverse Diffusion)的图象增强方法来进一步提高图象质量。尽管这种通过后处理进行颜色校正的方法可以进一步提高图象质量,但是由于Mondriaan彩色图象模型在图象的边缘位置是不完全适用的,因而在颜色校正的过程中,会在图象的边缘引入附加的颜色失真;文献[7]首先检测出图象的边缘,然后仅在非边缘像素上进行颜色校正,并获得了更好的效果,但是这两种方法运算都比较复杂;文献[1]用Markov随机场模型进行彩色插值,但是这种方法的运算更为复杂。此外,还有学者提出了基于矢量中值滤波(Vector Median Filter,或称VMF)的方法^[7]。与前面的方法不同,该方法把每个像素看成是一个三维矢量进行统一处理。这种方法的一个优点是通过选择不同的系数,可以在运算复杂性和图象质量两个方面进行折衷考虑,但是总的说来,图象边缘的颜色失真还是比较明显的。

文献[11]提出了一种基于有理函数(Rational Function,或者RF)的通用图象插值方法。文献[12]又把这种方法推广到通用的彩色图象插值领域。由于基于有理函数的插值算子是一种非线性算子,其本身具有保边界和保细节的特性,因而用这种方法可以获得比普通的线性插值更好的效果。本文则把基于有理函数的插值算子应用于色差空间的彩色插值,以代替色差空间的线性插值^[4]。

1 改进的色差空间彩色插值

1.1 色差空间的双线性彩色插值

通常的彩色插值算法(双线性插值、双立方插值等)之所以无法得到较好的图象质量,主要有如下两个原因:首先由于是对图象的边缘和非边缘像素采用同样的插值系数,从而在图象的边缘容易出现颜色失真。图2是应用Bayer彩色滤波阵列而得到的原始图象,虚线表示实际图象的边缘, P_{R_5} 表示一个像素,由于该像素上只采集到红(R)分量 R_5 ,因此需要恢复出该像素上的绿(G)分量 G_5 和蓝(B)分量 B_5 。如果用双线性插值算法恢复出 P_{R_5} 像素的红分量 R_0 和绿分量 G_0 ,则分别有

$$\begin{aligned} R_0 &= (R_5 + R_6 + R_7 + R_8)/4 \\ G_0 &= (G_1 + G_2 + G_3 + G_4)/4 \end{aligned} \quad (1)$$

由于 P_{R_5} 和 P_{B_5} 不在同一个区域,因而在计算 R_0 的时候,把 R_5 包含在内是有问题的。同样,在计算 G_0

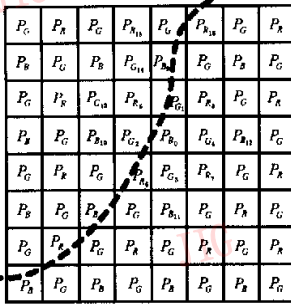


图2 彩色插值示意图

的时候也不应该把 G_2 包含在内;导致图象质量不佳的第2个原因是由于通常的彩色插值方法是对各个颜色分量分别进行插值,没有利用通道间关联性的缘故.文献[12]提出了如下假设:

$$G_n = R_n + K_{R_n}, G_n = B_n + K_{B_n} \quad (2)$$

其中, n 表示像素位置, K_{R_n} 和 K_{B_n} 是该像素上的色差分量,它们在 n 的邻域内变化很小,几乎为常数.根据这一假设,文献[4]提出了一种简单的色差空间的彩色插值算法.该算法由如下两步组成:首先在 P_R 和 P_B 像素上插值得到绿分量 G .例如要在图2中的 P_{B_0} 位置恢复绿分量,则首先要插值得到色差分量 K_{B_0} ,然后用下面的公式计算出 G_0

$$G_0 = K_{B_0} + B_0 \quad (3)$$

其中, $K_{B_0} = (K_{B_1} + K_{B_2} + K_{B_3} + K_{B_4}) / 4$

$$K_{B_i} = G_i - (B_0 + B_{i+3}) / 2, i = 1, \dots, 4 \quad (4)$$

这样即可得到所有像素上的绿分量 G ,然后经过进一步插值即得到所有的红和蓝分量.例如,若要在 P_{B_0} 像素上恢复出红分量 R ,则

$$R_0 = G_0 - K_{R_0} \quad (5)$$

其中, $K_{R_0} = (K_{R_1} + K_{R_2} + K_{R_3} + K_{R_4}) / 4$

$$K_{R_i} = G_i - R_i, i = 1, \dots, 4 \quad (6)$$

1.2 基于有理函数的插值算子

有理函数是近年提出的一种非线性信号处理技术,具有如下输入输出形式^[12]

$$y = \frac{\alpha_0 + \sum_{j=1}^m \alpha_{1,j} \cdot x_j + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \alpha_{2,j} \cdot x_j x_k + \dots}{\beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_{1,j} \cdot x_j + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \beta_{2,j} \cdot x_j x_k + \dots} \quad (7)$$

其中, x_1, x_2, \dots, x_m 为滤波器的输入, $\alpha_0, \beta_0, \alpha_{i,j}, \beta_{i,j}$ 为滤波器参数, y 是滤波器的输出.

在本文中将要用到以下两种形式的基于有理函数

的插值算子:

(1) 一维有理函数插值算子

为了在图3中的 P_{G_2} 像素位置插值恢复出红分量 R ,有

$$R_2 = RF_{1D}(R_1, G_2, R_3, G_4) = \frac{e_1 \cdot R_1 + e_2 \cdot R_3}{e_1 + e_2} \quad (8)$$

其中, $e_i = \frac{1}{1 + d_i^2} (i = 1, 2), d_1 = |R_3 - R_1|, d_2 = |G_4 - G_2|$ (见图3); $RF_{1D}(R_1, G_2, R_3, G_4)$ 即表示一维有理函数插值算子.

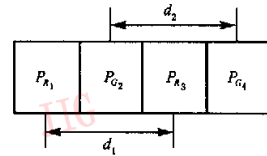


图3 一维图象插值模式

(2) 二维有理函数插值算子

图4列出了两种二维图象插值模式,实质都是通过 $P_{a_1}, P_{a_2}, P_{a_3}, P_{a_4}$ 等4个像素的灰度值插值得到 P 像素的灰度值,并假设像素 P_{a_i} 的灰度为 $a_i (i = 1, 2, 3, 4)$,有

$$P = RF_{2D}(a_1, a_2, a_3, a_4) = \frac{\omega_{1,2}(a_1 + a_2) + \omega_{2,3}(a_2 + a_3) + \omega_{3,4}(a_3 + a_4) + \omega_{4,1}(a_4 + a_1)}{2(\omega_{1,2} + \omega_{2,3} + \omega_{3,4} + \omega_{4,1})} \quad (9)$$

其中, $\omega_{m,n} = \frac{1}{8 + k \cdot (a_m - a_n)^2}, m, n = 1, 2, 3, 4, k$ 为非线性系数,当 $k = 0$ 的时候,等价于双线性插值; $RF_{2D}(a_1, a_2, a_3, a_4)$ 即表示二维有理函数插值算子.

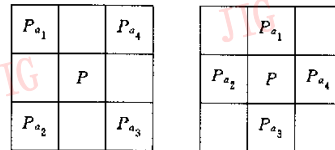


图4 两种二维图象插值模式

1.3 色差空间的有理函数彩色插值

用第2.1节中的彩色插值方法得到的图象质量比一般的线性插值方法有很大提高,主要表现在,图象边缘的颜色失真得到了有效抑制(参见第2节实验部分).这归功于式(1)假设的有效性,然而在图象的边缘, K_R 和 K_B 的变化要比区域内部显著,这导致色差空间的双线性插值无法得到更好的效果.前面已经叙述了由于基于有理函数的插值算子具有细

节保持和边缘自适应等特性,故本文把它应用到色差空间的彩色插值,以代替第2.1节中的双线性插值方法.具体步骤如下:

(1) 在所有 P_B 像素上插值恢复绿分量 G

以插值恢复像素 P_{B_0} 绿分量 G (参考图2)为例,此时用图4(b)的二维插值模式,其中, P 位置为 P_{B_0} 像素, $P_{a_i}(i=1,2,3,4)$ 位置为 P_{C_i} 像素.在进行插值时,需首先计算像素 P_{B_0} 的颜色差 $K_B(P_{B_0})$:

$$K_B(P_{B_0}) = RF_{2D}\{K_B(P_{C_1}), K_B(P_{C_2}), K_B(P_{C_3}), K_B(P_{C_4})\} \quad (10)$$

在计算 $K_B(P_{C_i})(i=1,2,3,4)$ 的时候,要用到图3的一维插值模式.以计算 $K_B(P_{C_2})$ 为例来说明如何插值,由于

$$K_B(P_{C_2}) = G_2 - RF_{1D}(B_{10}, G_2, B_0, G_4) \quad (11)$$

且所有 $K_B(P_{C_i})(i=1,2,3,4)$ 都可以按这种方法计算,代入式(10)得出 $K_B(P_{B_0})$, 因此有

$$G_0 = B_0 + K_B(B_0) \quad (12)$$

(2) 对所有 P_R 像素插值恢复绿分量 G

可参考插值恢复 P_B 像素绿分量的方法.步骤(1)、(2)执行以后,所有像素上的绿分量 G 都已经得到.

(3) 对所有 P_B 像素插值恢复红分量 R :

以在像素 P_{B_0} 上插值恢复红分量 R (参考图2)为例,此时用图4(a)的二维插值模式,其中, P 位置为 P_B 像素, $P_{a_i}(i=1,2,3,4)$ 位置为 P_R 像素.在进行插值时,需首先计算像素 P_{B_0} 上的颜色差 $K_R(P_{B_0})$:

$$K_R(P_{B_0}) = RF_{2D}(K_R(P_{R_5}), K_R(P_{R_8}), K_R(P_{R_15}), K_R(P_{R_{16}})) \quad (13)$$

其中, $K_R(P_{R_i}) = G_i - R_i(i=5,6,7,8)$, 从而可以得出像素 P_{B_0} 上的红分量为

$$R_0 = G_0 - K_R(P_{B_0}) \quad (14)$$

(4) 对所有 P_C 像素插值恢复红分量 R

可参考插值恢复 P_B 像素红分量的方法.步骤(3)、(4)执行以后,所有像素上的红分量都已经得到.

(5) 对所有 P_R 像素插值恢复蓝分量

可参考插值恢复 P_B 像素红分量的方法.

(6) 对所有 P_C 像素插值恢复蓝分量

可参考插值恢复 P_C 像素红分量的方法.

(7) 结束.

1.4 后处理颜色校正

使用第1.3节叙述的方法,可以在所有像素上得到红、绿和蓝分量,换言之,这就已经完成了彩色插值处理.为了进一步提高图象的质量,本文还采用

后处理的方法进行颜色校正.具体步骤如下:

(1) 校正所有像素上的绿分量 G

以校正像素 P_{R_5} 上的绿分量 G (参考图2)为例,此时用到图4(b)的二维插值模式,其中, P 位置为像素 P_{R_5} .首先计算像素 P_{R_5} 的颜色差 $K_R(P_{R_5})$

$$K_R(P_{R_5}) = RF_{2D}(K_R(P_{G_{14}}), K_R(P_{G_{13}}), K_R(P_{G_2}), K_R(P_{G_1})) \quad (15)$$

其中, $K_R(P_{G_i}) = G_i - R_i(i=14,13,2,1)$. 于是

$$G_5 = R_5 + K_R(P_{R_5}) \quad (16)$$

(2) 校正所有 P_B 像素的绿分量 G

可参考校正 P_R 像素绿分量的方法.

(3) 校正所有 P_B 像素的红分量 R

以校正像素 P_{B_0} 的红分量为例,此时用图4(a)的二维插值模式,其中, P 位置为像素 P_{B_0} .校正时,首先计算像素 P_{B_0} 的颜色差 $K_R(P_{B_0})$

$$K_R(P_{B_0}) = RF_{2D}(K_R(P_{R_{15}}), K_R(P_{R_8}), K_R(P_{R_5}), K_R(P_{R_{16}})) \quad (17)$$

其中, $K_R(P_{R_i}) = G_i - R_i(i=15,5,8,16)$. 于是

$$R_0 = G_0 - K_R(P_{B_0}) \quad (18)$$

(4) 校正所有 P_C 像素的红分量 R

以校正像素 P_{C_1} 的红分量为例,此时用图4(b)的二维插值模式,其中, P 位置为像素 P_{C_1} .校正时,首先计算像素 P_{C_1} 的颜色差 $K_R(P_{C_1})$

$$K_R(P_{C_1}) = RF_{2D}(K_R(P_{G_9}), K_R(P_{R_5}), K_R(P_{B_0}), K_R(P_{R_8})) \quad (19)$$

其中, $K_R(P_{G_9}) = G_9 - R_9$, $K_R(P_{R_i}) = G_i - R_i(i=5,8)$, $K_R(P_{B_0}) = G_0 - R_0$. 于是

$$R_1 = G_1 - K_R(P_{C_1}) \quad (20)$$

(5) 校正所有 P_R 像素的蓝分量 B

可参考校正 P_B 像素红分量的方法.

(6) 校正所有 P_C 像素的蓝分量 B

可参考校正 P_C 像素红分量的方法.

(7) 结束.

2 实验结果和分析

为了验证本文方法的效果,对4种彩色插值算法获得的图象质量以及计算速度进行了比较实验.第1种是双线性插值算法(以下简称 Bilinear);第2种是文献[4]使用的在色差空间的双线性插值算法(Bilinear Interpolation in Color Difference space,以下简称 CD-Bilinear);第3种是用于色差空间的基于有理函数的彩色差值(RF based interpolation in Color Difference space,以下简称 CD-RF)算法;第4种在 CD-RF 基础上增加了一步颜色校正过

程,也就是本文的算法(RF based interpolation in Color Difference space with Color Correction,以下简称CD_RF_CC算法)。

通过峰值信噪比 $PSNR$, 边缘峰值信噪比 $PESNR$ ^[1]和均方差 MSE 等3个指标来评价图象质量。如果用 I 表示测试图象, \tilde{I} 表示插值图象,则彩色图象的 $PSNR$ 和 $PESNR$ 的定义如下

$$PSNR = 20 \times \log \left[\frac{255}{\sqrt{\sum_s \sum_x \sum_y (I_s(s,y) - \tilde{I}_s(x,y))^2}} \right] \quad (21)$$

$$PESNR = 20 \times \log \left[\frac{255}{\sqrt{\frac{\sum_s \sum_x \sum_y e(x,y) \times (I_s(s,y) - \tilde{I}_s(x,y))^2}{3 \times \sum_x \sum_y e(x,y)}}}} \right] \quad (22)$$

$PSNR$ 反映了插值图象与原始图象相符合的程度。在计算 $PESNR$ 的时候,用到了边缘图象 $e(x,y)$,其

定义是,如果 $e(x,y)=1$,则表示像素 (x,y) 为边缘像素;如果 $e(x,y)=0$,则表示为非边缘像素。可见, $PESNR$ 反映了插值图象在边缘位置与原图象的相符合的程度。表1给出了几种算法得到的插值图象的质量比较。图版1图1以 LightHouse 图象为例列出了这几种方法的实际插值效果图。由图版1图1可以看到,双线性彩色差值算法导致了边缘模糊效应和边缘位置的颜色失真(图版1图1(b)),这在左侧的墙壁和栅栏上表现得比较明显。

图版1图1(c)是利用基于颜色差空间的双线性插值方法得到的结果,由于利用了不同颜色分量间很强的耦合效应,因而使边缘变得更加清晰,同时在一定程度上降低了边缘位置的颜色失真。图版1图1(d)是使用本文方法所获得的插值图象,与前两种方法比较,该图象边缘的颜色失真得到了很大程度的抑制。

表1 几种彩色差值算法性能比较

Images	Bilinear			CD-Bilinear			CD-RF			CD-RF-CC		
	PSNR	PESNR	MSE	PSNR	PESNR	MSE	PSNR	PESNR	MSE	PSNR	PESNR	MSE
LightHouse	28.97	19.87	187.1	32.98	26.96	57.3	33.51	27.96	48.4	35.55	30.01	36.5
Statue	31.35	22.84	86.1	35.53	29.06	28.3	35.92	29.93	27.1	37.63	31.38	23.4
Sails	31.15	21.23	105.2	35.05	28.01	37.4	35.30	28.25	34.2	36.19	29.60	31.3

本文算法的另外一个优点是计算速度较快,只比普通的线性插值方法慢5~7倍左右,比基于颜色差空间的双线性插值方法慢2~3倍。这是由于基于有理函数的插值算子本身比较简单,而增加一步颜色校正的过程也并不复杂,而文献[2]、[5]~[7]的算法或者由于使用了复杂的数学模型^[2,5,6],或者由于使用了太多的迭代运算^[6,7],因而增加了运算的复杂性。

3 结 语

本文提出了一种改进的基于色差空间的彩色插值方法,这是通过使用基于有理函数的插值算子来代替线性插值算子而实现的。用这种方法可以获得比较好的插值效果,其原因是:

(1) 在颜色差空间进行插值,考虑了不同颜色分量之间的很强的耦合效应;

(2) 基于有理函数的插值算子具有保留边界和细节的优良特性;

(3) 颜色校正过程进一步降低了边缘的颜色失

真。

这种算法的另外一个优点是运算速度较快,这得益于有理函数插值算子本身的简单性。本文还通过实验验证了算法的有效性。

参 考 文 献

- 1 Mukherjee J, Parthasarathi R, Goyal S. Markov random field processing for color demosaicing [J]. Pattern Recognition Letters, 2001, 22(3): 339~351.
- 2 Jain A K. Fundamentals of digital image processing [M]. Englewood cliffs, N J, USA: Prentice-Hall, 1989.
- 3 Cok D R. Reconstruction of CCD images using template matching[A]. In: Proc. of international Science and Technology (IS&T)'s 47th Annual Conference/International Congress on Imaging Science (ICPS)[C], Rochester N J, USA, 1994: 380~385.
- 4 Pei S C, Tam I K. Effective color interpolation in CCD color filter array using signal correlation [A]. In: Proceeding of International Conference on Image Processing [C], 2000, 3: 488~491.
- 5 Li Xin, Orchard M T. New edge-directed interpolation [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2001, 10(10): 1521~1527.

- 6 Kimmel R. Demosaicing: image reconstruction from color CCD samples [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(9):1221~1228.
- 7 Hur B S, Kang M G. High definition color interpolation scheme for progressive scan CCD image sensor[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronic, 2001, 47(1): 179~186.
- 8 Gupta M R, Chen T. Vector color filter array demosaicing[J]. Proceedings of SPIE on sensors and camera systems for scientific, industrial and digital photography applications I, 2001, 4306: 374~382.
- 9 Eliason P T, Soderblom L A, Chavez P S. Extraction of topographic and spectral albedo information from multi spectral images[J]. Photogramm. Engineering, Remote Sensing, 1981, 48(11):1571~1579.
- 10 Adams J I. Design of practical color filter array interpolation algorithms for digital cameras[J]. Proceeding of SPIE on real-time imaging I, 1997, 3028: 117~125.
- 11 Ramponi G. Image processing using rational functions[A]. In: Proceedings of the Cost 254 Workshop[C], Budapest, Hungary, Feb. 1997: 6~7.
- 12 Cheikh F A, Khrijji L, Gabbouj M *et al.* Color image interpolation using vector rational filters[A]. In: Proceedings of the SPIE'98, International Science and Technology (IS&T)/SPIE Conference on Nonlinear Image Processing IV [C], San Jose, California, USA, 1998: 242~249.



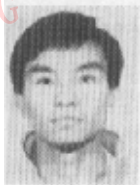
刘晓松 1975年生,1998年毕业于西安交通大学电子工程系,现为上海交通大学图象处理与模式识别研究所硕士研究生。目前主要研究兴趣为模式识别、图象插值以及彩色图象处理等。



杨新 1950年生,1982年获西北工业大学工学硕士学位,1995年获比利时布鲁塞尔自由大学电子系应用科学博士学位,1995年至1997年在西北工业大学计算机系进行博士后研究,现为上海交通大学图象处理与模式识别研究所教授,博士生导师。主要从事图象中偏微分方程的研究、运动目标检测、图象匹配、三维物体可视化等研究。发表论文40余篇。



文俊 1979年生,上海交通大学图象处理与模式识别研究所硕士研究生。研究方向为视频图象处理、人脸识别等。



汪进 1979年生,上海交通大学图象处理与模式识别研究所硕士研究生。研究方向为视频监控、网格计算中的信任安全。



(a) Light House原始图像



(b) Bilinear插值图像
(PSNR: 28.97, PESNR: 19.87, MSE: 187.1)



(c) CD Bilinear插值图像
(PSNR: 33.51, PESNR: 27.96, MSE: 48.4)



(d) CD RF CC插值图像
(PSNR: 35.55, PESNR: 30.01, MSE: 36.5)

图1 几种彩色差值方法插值结果