

# 基于形态学滤波和小角度边缘搜索的运动自适应去隔行

丁勇 陆生礼 时龙兴

(国家专用集成电路系统工程技术研究中心, 东南大学, 南京 210096)

**摘要** 为实现隔行扫描到逐行扫描的视频格式转换, 提出了一种运动自适应的去隔行算法, 主要包括运动估计、运动向量的形态学滤波、小角度边缘搜索、时空插值权重自适应插值等。该算法通过同极性场的像素块绝对值差和(SAD)与运动阈值的比较实现运动估计, 并对运动向量进行形态学滤波处理, 消除噪声影响。在小角度边缘搜索中采用自适应搜索半径和并行搜索树的策略实现最小 $6^\circ$ 的检测精度。最后, 通过时空权重自适应的插值算法实现去隔行处理, 取得了很好的处理效果。

**关键词** 去隔行 运动估计 形态学滤波 边缘搜索 时空权重自适应插值

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)05-0882-06

## Motion Adaptive De-interlacing Based on Mathematical Morphology Filtering and Low Angle Edge Detection

DING Yong, LU Sheng-li, SHI Long-xing

(National ASIC System Engineering Research Center, Southeast University, Nanjing 210096)

**Abstract** The function of de-interlace is to convert interlaced images to progressive ones. In this paper, a motion adaptive de-interlacing algorithm based on edge direction is presented. It consists of motion estimation, low-angle edge detection, and spatio-temporal weight adaptive interpolation. It estimates the motion by comparing the sum of absolute block difference (SAD) between same-parity fields with the threshold of motion. The motion information obtained by motion estimation is filtered by a mathematical morphology filter. The low-angle edge detection uses an adaptive searching radius and parallel search strategy in which the  $6^\circ$  edge can be detected. Experimental results show that the proposed method achieves high image quality with low hardware complexity.

**Keywords** de-interlacing, motion estimation, mathematical morphology filter, edge detection, motion adaptive interpolation

### 1 引言

去隔行是实现视频信号从隔行到逐行扫描格式转换的处理技术<sup>[1,2]</sup>。去隔行技术可以消除隔行扫描固有的行间闪烁、爬行等缺陷, 提高视频图像的垂直分辨率等, 使图像更加符合人的视觉特性。

去隔行技术大致可以分为线性滤波、运动自适应和运动补偿3类。线性滤波法<sup>[3]</sup>主要包括行复制、行平均、场合并等, 优点是结构简单, 缺点是不能增加图像的垂直分辨率, 或在处理运动图像时会带来锯齿、羽化等缺陷。自适应插值法<sup>[4-6]</sup>是根据运动信息区分运动或静止, 对静止区域采取线性滤波法, 对运动区域采取场内非线性滤波的方法进行插值。这类方法的优点是能够在静止区域增加垂直分

基金项目: 江苏省专用集成电路设计重点实验室开放研究课题(JSICK0405)

收稿日期: 2006-09-27; 改回日期: 2007-01-25

第一作者简介: 丁勇(1974~), 男, 东南大学固体电子学与微电子学专业博士研究生。主要研究方向为VLSI设计、视频图像处理、视频编解码等。E-mail: dyasic@163.com, victor\_ding@ovt.com.cn

辨率并且能够消除运动区域的羽化现象,缺点是由于运动估计的失误会带来插值错误等缺陷。运动补偿法先进行精确的运动检测,然后沿着运动轨迹进行插值<sup>[7-9]</sup>。运动补偿法最大限度地利用了视频信号时间和空间上的相关信息,但其计算量最大,对误差极其敏感,可能由于错误运动估计产生局部失真。而且快速获得准确、可靠的运动矢量是较困难的,运算复杂度很高。

本文提出一种运动自适应的去隔行算法,主要包括同极性场的运动估计、运动向量的形态学滤波、小角度边缘搜索、时空插值权重自适应插值等。该算法能够很好地实现视频运动的估计和小角度边缘的检测,并通过时空权重自适应的插值算法实现去隔行处理,自动融合场合并和边缘自适应场内插值的优点,取得很好的处理效果。

## 2 运动估计

在运动自适应去隔行技术中十分关键的是准确地区分视频图像中的运动和静止区域——运动估计,从而选择合适的去隔行插值算法<sup>[10,11]</sup>。运动估计是影响去隔行处理效果的决定性因素之一。

### 2.1 同极性场运动估计

视频信号按奇偶场的次序依次传输,每隔一场极性相同。定义在时间方向上的4场视频信号分别为 $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 场。由于奇场和偶场的数据在场方向相同位置上不尽相同,传统的采用相邻场(即不同极性场)的运动检测方法会带来一些问题,尤其对于静止图像水平边缘的检测会产生错误的判断,从而导致爬行效应。本文采用的运动检测准则是:计算同极性场(奇场—奇场或偶场—偶场)的像素块绝对值差和(sum of absolute pixel block difference, SAD),并与运动阈值进行比较,实现对视频图像的运动估计<sup>[12]</sup>。SAD定义为

$$\text{SAD}(i, j; t) = \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-n}^n |X(i+k, j+l; t_0) - X(i+k, j+l; t_2)| \quad (1)$$

式中, $m, n$ 定义一个 $(2m+1) \times (2n+1)$ 的像素块,这里采用的像素块的大小为 $5 \times 3$ ,即包含15个像素点。 $k$ 和 $l$ 为水平和垂直方向的偏移量, $X(i+k, j+l; t_0)$ 和 $X(i+k, j+l; t_2)$ 分别为第 $t_0$ 和 $t_2$ 场图像的像素灰度值。

分别在 $Y$ (亮度)和 $UV$ (色度)通道上计算像素块( $5 \times 3$ )绝对值差和 $\text{SAD}_Y, \text{SAD}_{UV}$ 。然后将 $Y$ 和 $UV$ 通道上的 $\text{SAD}_Y$ 和 $\text{SAD}_{UV}$ 求和得到当前像素总的绝对值差和 $\text{SAD}_T$ ,即

$$\text{SAD}_Y(i, j; t_0) = \sum_{k=-2}^2 \sum_{l=-1}^1 |Y(i+k, j+l; t_0) - Y(i+k, j+l; t_2)| \quad (2)$$

$$\text{SAD}_{UV}(i, j; t_0) = \sum_{k=-2}^2 \sum_{l=-1}^1 |UV(i+k, j+l; t_0) - UV(i+k, j+l; t_2)| \quad (3)$$

$$\text{SAD}_T(i, j; t_0) = \text{SAD}_Y(i, j; t_0) + \text{SAD}_{UV}(i, j; t_0) \quad (4)$$

当前像素对应的 $\text{SAD}_T(i, j; t_0)$ 与预先设置的运动阈值( $T$ ,在实验中选择 $T=50$ )进行比较,判断当前像素是否运动,得到当前像素的运动向量 $MV(i, j; t_0)$ 。若 $\text{SAD}(i, j; t_0)$ 大于运动阈值,则认为当前像素为运动像素, $MV(i, j; t_0) = 1$ ;否则,认为当前像素为静止像素, $MV(i, j; t_0) = 0$ 。即

$$MV(i, j; t_0) = (\text{SAD}(i, j; t_0) > T) \quad (5)$$

在SAD计算的同时,计算像素 $X(i, j; t_0)$ 和 $X(i, j; t_2)$ 的绝对差值(时域差值 $TD$ );计算二者的平均值(时域均值 $PT$ ),输出给后续的时空自适应插值模块。

$$TD(i, j; t_0) = |X(i, j; t_0) - X(i, j; t_2)| \quad (6)$$

$$PT(i, j; t_0) = (X(i, j; t_0) + X(i, j; t_2))/2 \quad (7)$$

### 2.2 运动向量的形态学滤波

视频信号在编解码和传输等环节引入的噪声容易引起运动估计不准。为了消除噪声影响,增强运动估计的准确性,本文采用相同的结构元素 $B$ 对运动信息 $MV$ 进行先腐蚀再膨胀的形态学滤波处理,去除其中的一些孤立子域和毛刺。在形态学中,结构元素的作用相当于信号处理中的“滤波窗口”。结构元素作为对图像处理的依据,它的大小、形状选择是否合适将直接影响图像的形态运算结果,因此,需要根据不同的应用场合来选择合适的结构元素。这里选取 $3 \times 3$ 的方形结构元素 $B$ ,因为利用方形结构元素产生的边缘是强连通的边界,也就是说边界是连续的。

理论上,图像的膨胀和腐蚀运算可以通过击中-击不中变换来实现。在这一过程中,量化了的图像模式在一个 $3 \times 3$ 窗口中检测,对每一种模式都产生一个输出像素。然而,这种近似在计算上是不可行的。一种常用的替换方法是对像素邻域进行灰度极值运算。所以,对 $MV$ 进行腐蚀处理实际上是对结

构元  $B$  范围内的  $MV$  进行取最小值运算,得到腐蚀后的运动向量  $MVe$ 。然后对  $MVe$  再进行扩散处理,实际上是在结构元  $B$  范围内的  $MVe$  进行取最大值运算,得到经过形态学滤波处理后的运动向量  $MVc$ 。

$$MVe = MV \ominus B$$

$$= \min [MV(i-1, j-1), MV(i-1, j), \dots, MV(i+1, j+1)] \quad (9)$$

$$MVc = MVe \oplus B$$

$$= \max [MVe(i-1, j-1), MVe(i-1, j), \dots, MVe(i+1, j+1)] \quad (10)$$

### 3 小角度边缘搜索

在运动自适应的去隔行算法中,正确的区分静止和运动固然重要,但是,对于运动图像中边缘信息的准确检测,并在空间插值滤波器中合理应用边缘信息对提高图像质量也相当关键。如果对边缘检测不准会导致锯齿等图像劣化现象。

基于边缘的行平均(ELA)算法在去隔行中得到广泛应用,但是,它的致命缺陷是对水平边缘的检测能力很弱,只能检测  $45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $135^\circ$  边缘,对于小角度边缘则无能为力<sup>[6,13]</sup>。为此,Kuo 等人提出  $3+3$  阶的 ELA 算法,并且通过比较相邻像素的差值来改善对图像水平边缘的检测<sup>[6]</sup>,Lee 等人将  $3+3$  阶的 ELA 算法扩展为  $5+5$  阶<sup>[14]</sup>,Haan 等人则扩展为  $7+7$  阶<sup>[15]</sup>。这些改进虽然增强了 ELA 对较小角度边缘的检测能力,但是仍然无法检测接近水平的边缘,即使是  $7+7$  阶也只能检测到最小  $18^\circ$  的边缘,而且固定抽头的滤波器设计方法对于硬件电路的设计并不是很好的方案。Chang 等人提出的 EIELA<sup>[16]</sup> 的计算量很大,硬件实现的难度和复杂度较大。

为提高水平边缘的检测能力,本文提出的小角度边缘搜索改进算法主要包括两个方面:一是增大搜索范围(半径),左右最大各搜索 8 个点,并且采用自适应的设计方法,从而减小硬件的复杂度;二是在得到大致边缘方向的基础上,增加对相邻像素的考虑,实现半像素精度,提高边缘检测的精度。

边缘搜索示意如图 1 所示,其中黑点代表待插补的像素  $x(i, j)$ ,上下两行的像素点的对角线方向

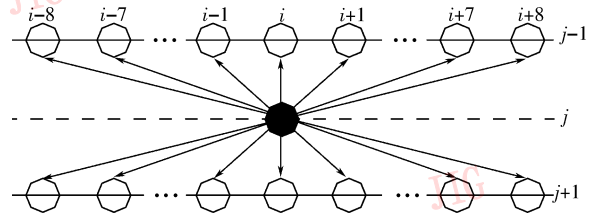


图 1 小角度边缘搜索

Fig. 1 Low angle edge search

代表可能的边缘方向。其基本原理是:通过计算、比较对角线上的像素绝对差值判断对角线对应像素与待插补像素的相关性,绝对差值越小相关性越大,最小差值对应的方向就是边缘方向。在计算中采用并行处理架构,将上下行的对角像素分为 3 部分:一是中间部分,只有  $90^\circ$  一个方向的两个像素  $x(i, j-1)$ ,  $x(i, j+1)$ ;二是向左搜索部分,包括  $j-1$  行上  $x(i, j-1)$  右边的像素和  $j+1$  行上  $x(i, j+1)$  左边的像素;三是向右搜索部分,包括  $j-1$  行上  $x(i, j-1)$  左边的像素和  $j+1$  行上  $x(i, j+1)$  右边的像素。同时计算这三部分对角像素的绝对差值,分别得到  $90^\circ$  方向的绝对差值  $D_m$ ,左方向的绝对差值  $L_1, L_2, \dots, L_8$  和右方向的绝对差值  $R_1, R_2, \dots, R_8$ 。即

$$D_m = |Y(i, j-1) - Y(i, j+1)| \quad (11)$$

$$L_n = |Y(i+n, j-1) - Y(i-n, j+1)| \quad (12)$$

$$n = (1, 2, \dots, 8)$$

$$R_n = |Y(i-n, j-1) - Y(i+n, j+1)| \quad (13)$$

$$n = (1, 2, \dots, 8)$$

在小角度边缘搜索中,为减少计算量和硬件资源的消耗,采取自适应搜索半径的检测方法,在进行向左或向右顺序搜索的过程中每一级计算结束后都要将差值与上一级进行比较(第 1 级的差值与  $D_m$  进行比较),如果绝对差值一直保持增大趋势或减小趋势则继续进行搜索,直到搜索半径等于 8,如果出现相反的变化趋势,则停止搜索。然后选择出最小的绝对差值  $D$ ,差值  $D$  对应的对角方向就是大致的边缘方向。

$$D = \min(D_m, L_1, \dots, L_n, R_1, \dots, R_n) \quad (14)$$

通过最小绝对差值  $D$  的选择方法可以检测到  $90^\circ$ ,  $45^\circ$  ( $135^\circ$ ),  $26.57^\circ$  ( $123.43^\circ$ ),  $18.43^\circ$  ( $161.57^\circ$ ),  $14^\circ$  ( $164^\circ$ ),  $11.3^\circ$  ( $168.7^\circ$ ),  $9.46^\circ$  ( $170.54^\circ$ ),  $8.13^\circ$  ( $171.87^\circ$ ),  $6.34^\circ$  ( $173.66^\circ$ ) (与水平方向夹角)的边缘,边缘最小间隔角度为  $1.79^\circ$ ,检测到的最小角度为  $6.34^\circ$ 。

为了得到更准确的边缘方向,在通过最小绝对差值  $D$  得到大致边缘方向的基础上再增加对大致边缘方向邻近像素的考虑,如图 2 所示,假设初步选定的最小绝对差值  $D$  对应的方向是通过像素  $X_R$  和  $X_L$  的直线,则增加对邻近像素  $X_{L-1}$  和  $X_{L+1}$  的考虑,分别计算  $X_R - X_{L-1}$  和  $X_R - X_{L+1}$  的绝对差值  $D_{L-1}$  和  $D_{L+1}$ ,然后求三者的最小值  $ND$ ,  $ND$  对应的方向就是真正的边缘方向。

$$ND = \min(D_{L-1}, D_{L+1}, D) \quad (15)$$

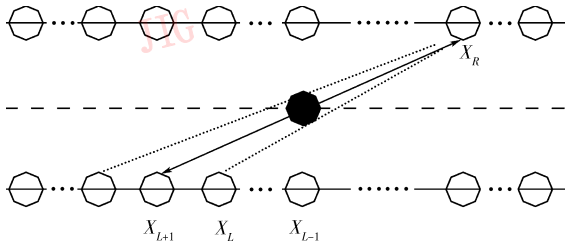


图 2 考虑邻近像素的搜索

Fig. 2 Edge detection considering neighbor pixels

通过增加邻近像素的考虑,可以检测到更加精确的边缘,比最小绝对差值法增加了  $63.4^\circ$  ( $116.6^\circ$ ),  $33.7^\circ$  ( $146.3^\circ$ ),  $21.8^\circ$  ( $158.2^\circ$ ),  $15.9^\circ$  ( $164.1^\circ$ ),  $12.5^\circ$  ( $167.5^\circ$ ),  $10.3^\circ$  ( $169.7^\circ$ ),  $8.7^\circ$  ( $171.3^\circ$ ),  $7.6^\circ$  ( $172.4^\circ$ ),  $6.7^\circ$  ( $173.3^\circ$ ),  $6.0^\circ$  ( $174^\circ$ ) 等角度边缘的检测能力,检测的最小角度为  $6^\circ$ ,检测边缘的最小间隔(即最大精度)为  $0.7^\circ$ ,这一边缘检测精度在已有文献中无法达到。

同时,计算这两个像素的差值(空域差值  $SD$ )和它们的平均值(空域均值  $PS$ ),输出给时空权重自适应插值模块。

$$SD = \begin{cases} |X_R - X_{L-1}| & ND = D_{L-1} \\ |X_R - X_{L+1}| & ND = D_{L+1} \\ |X_R - X_L| & ND = D_L \end{cases} \quad (16)$$

$$PS = \begin{cases} (X_R + X_{L-1})/2 & ND = D_{L-1} \\ (X_R + X_{L+1})/2 & ND = D_{L+1} \\ (X_R + X_L)/2 & ND = D_L \end{cases} \quad (17)$$

## 4 时空权重自适应插值

在运动自适应的去隔行处理中,对运动向量为 0 的静止区域,采用场合并的方式进行插值,提高图像的垂直分辨率,恢复视频图像原有的帧结构;对运

动向量为 1 的运动区域,采用时空权重自适应插值,有效克服运动估计误差和边缘检测不准带来的插值错误,自动融合场合并和边缘自适应场内插值的优点。

时空权重自适应插值主要步骤如下:

(1) 时空权重计算单元利用前后场对应像素的  $TD$  和场内边缘方向的上下行对角像素的  $SD$  计算出时域权重系数( $k_T$ )和空域权重系数( $k_S$ ):

$$k_T = SD / (SD + TD) \quad (18)$$

$$k_S = 1 - k_T \quad (19)$$

(2) 按照步骤 1 得到的权重系数对  $PT$  和  $PS$  进行加权平均得到待插补点的估计值( $P'$ )。

$$P' = PT \times k_T + PS \times k_S \quad (20)$$

(3) 为了避免插值后的像素值与上下行的像素值相差太过悬殊引起的图像突兀变化和点闪烁现象,需要对当前场像素点  $X(i, j - 1; t_0)$ ,  $X(i, j + 1; t_0)$  和待插补像素点的估计值  $P'$  进行中值滤波处理,得到最终的插补像素  $P$ ,即

$$P = \text{median}(X(i, j - 1; t_0), X(i, j + 1; t_0), P') \quad (21)$$

## 5 实验结果及分析

运动估计及运动向量的数学形态学滤波处理的效果如图 3 所示。比较形态学滤波处理前后的运动向量可以发现:

(1) 运动估计得到的运动向量存在大量的噪声点,如图 3(b) 所示。这些噪声点将被误认为“运动”而采取不适当的去隔行算法,从而影响处理效果;

(2) 运动向量  $MV$  经过腐蚀处理后,噪声得到很大抑制,但是由于腐蚀具有收缩图像的作用,损失了大量边缘处的运动信息,如图 3(c) 所示;

(3) 对经过腐蚀处理的运动向量  $MV_e$  再进行膨胀处理,利用膨胀处理填充图像中边缘处的小凹陷部分和小孔的特性,得到具有丰富边缘信息的准确运动向量  $MV_c$ ,并且基本抑制噪声的影响,从而提高了运动估计的准确性,如图 3(d) 所示。

权重自适应去隔行和已有算法的实验处理结果比较如图 4 所示。

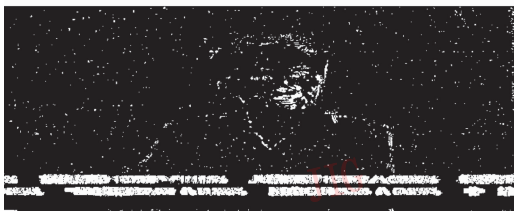
“钟摆”源图像可以分为钟摆的悬杆、符号“OK”和图像右下角旋转的图标 3 部分。“OK”可以用来检验运动检测的准确度;钟摆的悬杆和旋转的



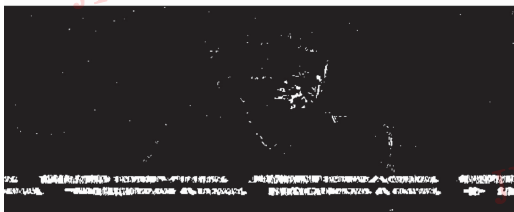
(a) 相同极性的场图像



(b) 运动估计得到的运动向量MV



(c) 腐蚀处理后的运动向量MVe



(d) MVe再经过膨胀处理后的运动向量MVc

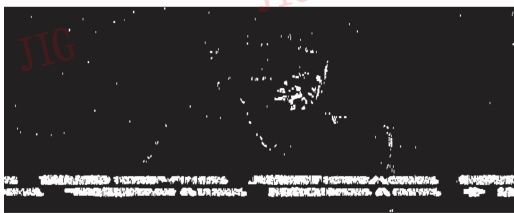
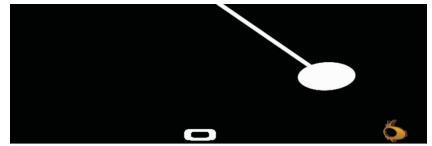


图 3 运动向量的形态学滤波处理

Fig. 3 Motion estimation with mathematical morphology filter

图标用于检验小角度边缘的搜索能力和边缘自适应的插值精度。

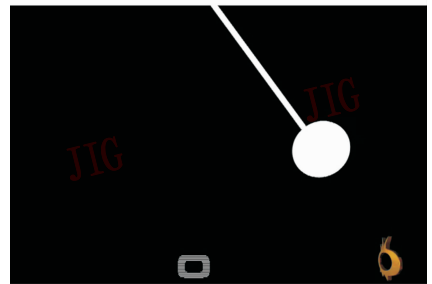
由于符号“OK”由只存在于偶场的“O”和只存在于奇场的“K”组成,也就是说,“O”和“K”分别存在于不同极性的场中,所以如果采用相邻场(同极性)来进行运动检测,将会把此处判断为运动区域而选择场内插值算法,从而丢失“K”或者“O”,如图 4(c)所示的处理结果。正确的处理方法应当是采用同极性场的运动检测,判断此处为静止区域而选择场合并的方法进行插值,效果如图 4(d)和(e)所示。



(a) 钟摆视频源信号中的偶场图像



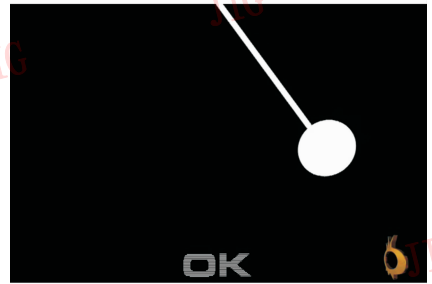
(b) 钟摆视频源信号中的奇场图像



(c) 场内插值去隔行算法得到的处理效果



(d) 运动自适应去隔行算法得到的处理效果



(e) 本文算法的处理效果

图 4 去隔行处理效果比较

Fig. 4 Comparison of proposed and typical de-interlace methods

钟摆的悬杆和旋转的图标都是快速运动的区域,所以需要采取场内插值的算法。但是,如果运动检测不准,将其误判为静止区域,或者在场内插值中小角度边缘的搜索能力和插值精度不足也将大大影响去隔行的效果,如图 4(d)所示。图 4(d)中由于场内插值的失误引起钟摆悬杆出现明显的重影现

象。而本文算法使用的运动向量是经过形态学滤波处理的,并且具备很强的小角度边缘搜索能力和插值精度,所以可以有效地消除重影现象如图4(e)所示。

由图4(e)可以看出,基于形态学滤波和小角度边缘搜索的运动自适应去隔行算法采用同极性场的运动检测和小角度边缘自适应的插值技术,融合了场合并和场内边缘自适应插值的优点,克服了传统算法所带来的缺陷,取得很好的处理效果。

## 6 结 论

本文提出一种运动自适应的去隔行方法,通过同极性场的运动估计得到运动向量,并且通过数学形态学滤波器对运动向量进行滤波处理,提高运动估计的精度。然后进行运动自适应插值,对于静止区域采取场合并的插值处理;对于运动区域采取时空权重自适应的插值处理,通过小角度边缘搜索检测最佳空间插值方向。该算法的优点是自动融合场内插值和场合并的优点,电路实现简单,处理效果很好。此算法和VLSI电路已经被成功地嵌入基于中芯国际0.18 $\mu\text{m}$  CMOS工艺的数字视频扫描格式转换芯片(SFC)中。

### 参考文献 (References)

- 1 Thomas G. A comparison of motion-compensated interlace-to-progressive conversion methods [J]. *Signal Process: Image Communication*, 1998, **12**(3): 209 ~ 229.
- 2 Wang D, Vincent A, Blanchfield P. Hybrid De-interlacing algorithm based on motion vector reliability [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, **15**(8): 1019 ~ 1025.
- 3 Haan G de, Bellers E B. Deinterlacing—An overview [J]. *Proceedings of the IEEE*, 1998, **86**(9): 1839 ~ 1857.
- 4 Han D, Shin C Y, Choi S J, *et al.* A motion adaptive 3-D de-interlacing algorithm based on the brightness profile pattern difference [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1999, **45**(3): 690 ~ 697.
- 5 Lin S F, Chang Y L, Chen L G. Motion adaptive de-interlacing with

- horizontal motion detection and ELA with median [A]. In: *Proceedings of 2003 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2003)* [C], Bangkok, Thailand, 2003: 696 ~ 699.
- 6 Kuo C J, Liao C, Lin C C. Adaptive interpolation technique for scanning rate conversion [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, **6**(3): 317 ~ 321.
- 7 You Y J, Byung T C, Park Y J, *et al.* An effective de-interlacing technique using motion compensated interpolation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2001, **46**(3): 460 ~ 466.
- 8 Sugiyama K, Nakamura H. A method of de-interlacing with motion compensation interpolation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1999, **45**(3): 611 ~ 616.
- 9 Tourapis A M, Au O C, Liou M L. Advanced de-interlacing techniques with the use of zonal based algorithm [A]. In: *Proceedings of Visual Communications and Image Processing* [C]. San Jose, CA, USA, 2001: 949 ~ 958.
- 10 Li R, Zeng B, Liou M L. Reliable motion detection/compensation for interlaced sequence and its applications to deinterlacing [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2000, **10**(1): 23 ~ 29.
- 11 Nguyen A, Dubois E. Spatio-temporal adaptive interlaced-to-progressive conversion [A]. In: *Signal Processing of HDTV* [C]. New York: Elsevier, 1993: 749 ~ 756.
- 12 Chang Y L, Lin S F, Chen C Y, *et al.* Video de-interlacing by adaptive 4-field global/local motion compensated approach [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, **15**(12): 1569 ~ 1582.
- 13 Lee S G, Lee D H. A motion-adaptive de-interlacing method using an efficient spatial and temporal interpolation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2003, **49**(4): 1266 ~ 1271.
- 14 Lee H Y, Park J M, Bae T M, *et al.* Adaptive scan rate up-conversion system based on human visual characteristics [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2000, **46**(4): 999 ~ 1006.
- 15 Haan G de, Lodder R. De-interlacing of video data using motion vectors and edge information [A]. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Consumer Electronics* [C] Los Angeles USA, 2002: 70 ~ 71.
- 16 Chang Y L, Lin S F, Chen L G. Extended intelligent edge based line average with its implementation and test method [A]. In: *Proceedings of 2004 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2004)* [C], Vancouver, Canada, 2004: 341 ~ 344.

# 基于物理模型的雾天图像复原新方法

陈 功 王 唐 周荷琴

(中国科学技术大学自动化系,合肥 230027)

**摘 要** 由于雾天场景的能见度很低,因此为了保证视频监控系统的正常工作,需要对视频图像进行去雾处理。根据光学原理,雾天条件下场景的能见度下降是与场景深度呈指数关系的,鉴于现有的基于物理模型方法的去雾效果不够理想,因此提出了一种新的基于物理模型的图像复原方法,该方法首先对雾天场景的光学成像建模;然后借助于一张晴天和一张雾天场景的参考图像,计算出场景各点的深度比关系,最后利用深度关系复原雾天图像或雾天视频。实验结果证明,该方法是有效的和实用的。

**关键词** 去雾 智能视频监控 图像复原 物理模型 场景

中图法分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)05-0888-06

## A Novel Physics-based Method for Restoration of Foggy Day Images

CHEN Gong, WANG Tang, ZHOU He-qin

(Department of Automation, University of Science & Technology of China, Hefei 230027)

**Abstract** Scene visibility is very low in foggy days. We need to defog the surveillance video to make sure the intelligent visual surveillance system work normally. According to optics theory, the reduction of scene visibility is exponential to the scene depth. The defog effect of existing model-based methods are not good enough. In this paper, a new physics-based method of image restoration is presented. This method models scene points in foggy day firstly. Then the scene depth is calculated for two images which are captured in clear day and foggy day respectively. Image or video taken in foggy day is restored using depth information finally. The experiments demonstrate the effectiveness and practicality of this method.

**Keywords** defog, intelligent visual surveillance, image restoration, physics model, scene

## 1 引 言

大多数的室外视频工作系统,如视频监控、地形勘测、自动驾驶等,都需要清晰准确地提取图像特征,但是在雾天情况下,由于场景的能见度降低,图像中目标对比度和颜色等特征被衰减,系统无法正常工作,因此需要在视频图像中消除雾气对场景图像的影响。雾天图像复原也称为去雾,如今已有多种去雾算法,具体的可以分为非模型的方法和基于物理模型的方法两类。早期的去雾算法是用简单的图像处理方法改变对比度,如直方图均衡化和对比

度拉升等,由于能见度具有指数衰减特性,因此这些方法并不能取得很好的去雾效果。典型的非模型方法还包括基于小波和基于大气调制传递方程的方法。文献[1]就是使用基于小波的方法对多幅雾天图像进行融合来获得一张较好的图像,但这种方法只能相对地提高图像质量,并不能实现真正意义上的去雾。文献[2]借助于大气调制传递方程进行雾天衰减图像的处理,但是需要事先知道雾气浓度和场景深度,在实际应用中难以实现。相比之下,基于物理模型的方法却能够取得较为理想的去雾效果。一些学者利用 McCartney 提出的大气散射模型<sup>[3]</sup>,通过对雾天场景建模来解决雾天图像的去雾问题,

**基金项目:**中国科学院自动化研究所-中国科学技术大学智能科学与技术联合实验室自主研究课题基金项目(A0602)

**收稿日期:**2006-07-25; **改回日期:**2006-12-12

**第一作者简介:**陈 功(1980 ~ ),男。2003年获中国科学技术大学自动化系自动控制专业学士学位,现为该校自动化系模式识别与智能系统专业博士研究生。主要研究方向为图像处理、智能交通系统、嵌入式系统开发等。E-mail: chengong@mail.ustc.edu.cn