

恶劣环境下图像的缺陷补偿

刘 杰¹, 谢正祥², 吕霞付¹, 黄维娜¹

(1 重庆邮电大学 工业物联网与网络化控制教育部重点实验室, 重庆 400065;

2 重庆医科大学 生物医学工程研究室, 重庆 400016)

摘 要: 在分析介质(环境)对成像质量影响的基础上,建立了介质中图像衰减模型,提出了一种同时适用于过暗、过亮、有雾和水下四种恶劣环境下的衰减补偿算法.图像的主观评价和客观评价的实验表明运用此衰减补偿算法处理后的图像拥有更好的视觉效果,并在处理速度上有较大的提升.

关键词: 恶劣环境;衰减补偿;自适应调节;质量评价

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)03-0054-05

Deficiency Compensation of Image in Severe Environment

LIU Jie¹, XIE Zheng-xiang², LV Xia-fu¹, HUANG Wei-na¹

(1 Key Laboratory of Industrial Internet of Things & Network Control, MOE, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China; 2 Biomedical Engineering Lab,

Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

Abstract: This paper establishes an image attenuation model in the medium and proposes an attenuation compensation algorithm which can be used in four types of severe environment mentioned above. The experiments on subjective assessment and objective assessment function indicate the image processed by the proposed attenuation compensation algorithm has better visual effect, and the speed of the processing been promoted considerably.

Key words: severe environment; attenuation compensation; adaptive control; objective evaluation

1 引言

恶劣环境下图像的处理方法主要分为图像增强的方法和图像复原的方法.图像增强的方法它不考虑图像退化的原因仅仅突出一些需要的信息^[1-2].等,图像复原的方法它是通过研究图像退化的原因,利用退化过程的某种先验知识来重建和恢复退化前的图像^[3-5],这些算法存在适应性不强、细节丢失、颜色失真、处理速度慢.

针对这些缺陷,本文提出了一种衰减补偿的方法,首先去除介质本身的图像,然后补偿介质对成像物体的衰减.通过实验验证,所提的方法不仅对过暗、过亮、有雾和水下这四种环境下的图像都有较好的效果,并且运算速度得到了很大的改善.可以进一

步应用复杂多变实时性高的视频监控系统中.

2 介质中图像成像模型

2.1 模型建立

相比正常天气下的图像,有雾图像受雾气的影响,成像设备采集到的图像是成像物体经过介质衰减之后的像和介质本身的像的合成.该合成效果与医学中传统的 X 射线摄像的影像重叠效应类似.对于正常天气下过亮和过暗环境的图像也可以认为是成像物体与几乎透明的介质的合成.关于现有图像的合成模型,有卷积模型,加权和模型^[3],但都仅仅考虑了图像的衰减而没有考虑到介质本身的图像.本文所提出的一种新颖的加权和模型,该模型不仅可以对含介质图像进行直观分析,并且可以降低算

收稿日期: 2014-05-03; 修回日期: 2014-06-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(60975008)

法复杂度.

在介质中的图像,对任一点,介质本身的色度为 $L(CH)$,其中 CH 表示红、绿、蓝三个颜色通道,成像物体经过介质衰减之后的色度为 $S(CH)$,合成图像的加权和模型为 $F(CH)$,则有

$$F(CH) = \omega_1 \cdot L(CH) + \omega_2 \cdot S(CH) \quad (1)$$

式中,

$$\omega_1 = \frac{L(CH)}{L(CH) + S(CH)} \quad (2)$$

$$\omega_2 = \frac{S(CH)}{L(CH) + S(CH)} \quad (3)$$

显然有

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (4)$$

因而,式(1)变为

$$F(CH) = \frac{L^2(CH)}{L(CH) + S(CH)} + \frac{S^2(CH)}{L(CH) + S(CH)} \quad (5)$$

对于清澈天气(晴天),理想照度下的(即我们想要恢复成的)自然景物图像,应该三种颜色通道都有全带谱,即有红 $[0, 255]$,绿 $[0, 255]$,蓝 $[0, 255]$.对于恢复后的图像也希望是这样.对于介质中图像的色度谱的左值和右值,由式(5)分别得到:

$$F_l(CH) = \frac{L_l^2(CH)}{L_l(CH) + S_l(CH)} + \frac{S_l^2(CH)}{L_l(CH) + S_l(CH)} \quad (6)$$

$$F_r(CH) = \frac{L_r^2(CH)}{L_r(CH) + S_r(CH)} + \frac{S_r^2(CH)}{L_r(CH) + S_r(CH)} \quad (7)$$

式中,下标 l 和 r 分别表示色度谱的左值和右值.假定原始图像是标准化的图像(称三色带谱是全带谱的图像为标准化的图像),红 $[0, 255]$,绿 $[0, 255]$,蓝 $[0, 255]$ 则有如果分别令 $F_l(CH) = 0$, $F_r(CH) = 255$,则由于图像的正定性和有界性($[0, 255]$),由式(6)和式(7)可得, $S_r(CH) = 255$ 和 $S_l(CH) = 0$,这就获得了理想的介质中图像恢复.这时有 $L_r(CH) = 0$ 和 $L_l(CH) = 0$,这可解释为去除了介质本身的图像.

2.2 去介质

为实现这样去介质本身图像的功能,我们引入一种标准化变换^[6]如下:

$$S(CH, x, y) = k \cdot \frac{F(CH, x, y) - Theta}{Delta} \quad (8)$$

式中, CH 为 3 个颜色通道, x 和 y 表示的是像素的坐标, k 称为伸缩因子,这里令 $k = 255$,这样可以让像素值分布在 0 到 255 之间. $Theta$ 和 $Delta$ 称为变换

因子.当 $Delta = 1$ 时,式(8)表示二值化变换.当令 $Theta = 0$, $Delta = 255$ 时,变换结果为原始图像.对于介质中的图像,令 $Theta = F_l(CH)$, $Delta = F_r(CH) - F_l(CH)$ 完成式(8)的变换,就能实现去介质功能.

经过去介质本身的图像 $L(CH)$ 之后得到的是成像物体经过介质衰减之后的图像 $S(CH)$.所以下一步就是补偿介质对成像物体的衰减.

3 衰减补偿算法

3.1 衰减规律

光线在传输介质传播时,受到的介质的吸收和散射而引起的衰减,在这里统一称为广义吸收.在朗伯-比尔定律的基础上我们建立了如下式子.

$$S(CH) = S_0(CH) \cdot e^{-\beta \cdot l} \quad (9)$$

式中, l 表示介质中的图像到成像设备的距离, $S_0(CH)$ 与 $S(CH)$ 分别为介质中成像物体的反射光强和成像物体经过介质衰减之后的光强. β 是介质对光线的衰减系数.

不同的介质其衰减程度是不一样的,所以不同的环境需要选择一个合适的 β 值.在真空介质中光线在传输过程中不存在衰减, β 取值应该为 0.而对过暗、过亮、有雾、水下环境下,我们通过采集不同环境下的图像,根据主观评价和综合质量评价函数比较得到在空气中如过暗图像和过亮图像 β 的取值约等于 0.000 1,在水中 β 的取值约等于 0.000 5,在雾中 β 的取值约等于 0.000 8.

现在四种环境下 β 的值已经得到,并且 $S(CH)$ 已由上一节得到,由式(9)可知只要进一步得到 l ,就可以得到衰减之前的图像 $S_0(CH)$,其中 l 的值根据下一节中的屏幕坐标系来获得.

3.2 屏幕坐标系

为便于理论模型接近实际计算模型,这里采用屏幕坐标系,如图 1 所示.屏幕坐标系与笛卡尔坐标系有关于 X 轴的对称关系.平面图像是三维景物的二维投影.成像设备采集到的图像为平面 $OKCD$, $IJCD$ 是最靠近成像设备的物面,它会投影到整个像面 $OKCD$ 上. IJ 透射到 OK 上.高 h_0 的物平面投影到平面的 $ABCD$.如果 $IJCD$ 有一定的透明度,就会产生如医学 X 射线摄片一样的影像重叠效应.实际场景是由很多个平行物面组成的,每个物面到成像设备的距离也不一样.假定 $ABGP$ 为视场中的一幅物面,到图像的终止线 OK 的距离为 y ,则它的投影是像面上的 $ABOK$,它距摄像机的距离为 $BH - y$. BH

等于 DK , 是整幅图像的高度, 它的值是由成像设备决定的, 是图像格式文件自带的. 这样 ABGP 发出的投射到成像设备的光子束的衰减规律为

$$S(CH) = S_0(CH) \cdot e^{-\beta \cdot (BH-y)} \quad (10)$$

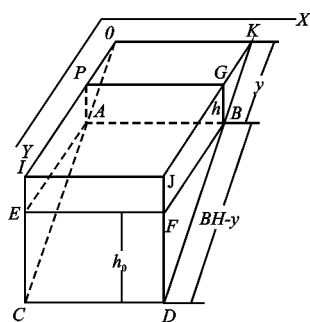


图 1 屏幕坐标系

3.3 衰减补偿

结合式(8)、(10)得到衰减补偿结果为

$$S_0(CH, x, y) = 255 \cdot$$

$$\frac{F(CH, x, y) - F_1(CH, x, y)}{(F_r(CH, x, y) - F_l(CH, x, y))} \cdot e^{\beta \cdot (BH-y)} \quad (11)$$

由于经过衰减补偿之后, 有雾和水下图像的细节信息都有一定的增强, 可以理解为复原到没有经过介质衰减前的理想图像, 但是如果原始的理想图像本身处于过暗或者过亮的环境中, 那么经过复原之后就会出现过暗或过量, 直接影响了视觉效果. 所以后续还要进一步对亮度进行调整对衰减补偿算法进行优化.

3.4 亮度自适应调节

根据文献[7]中的分析可知若要获取具有理想均衡化直方图的具有最佳图像质量, 其平均亮度为值应为 127.5. 我们经过大量的实验及数据拟合发现文献[8]Zadeh-X 方法中的参数 Δ 与图像的平均亮度 AL 有关, 因此采用 Zadeh-X 变换对衰减补偿后的图像进行亮度调整得到下式:

$$T(CH, x, y) = K \cdot \frac{S_0(CH, x, y) - Theta}{Delta_{opt}} + Theta \quad (12)$$

式中, $T(CH, x, y)$ 为目标图像的任一点的灰度/色度值, $S_0(CH, x, y)$ 是根据式(11)得到的衰减补偿之后的值; $Theta \in [0, 255]$ 为设定的变换的起始灰度/色度值, $Delta_{opt} \in [1, 255]$ 为设定的灰度/色度范围, 决定变换后的灰度/色度层次. $K \in [1, 255]$ 为设定的空间膨胀系数, 为有最大的对比度分辨率, 设定 $K = 255$. 经过大量的样本研究, 获得参数 $Delta_{opt}$ 与平均亮度 AL 的经验模型式(13):

$$Delta_{opt} = 5 \times Abs[Theta - AL]^{0.811} \quad (13)$$

式(13)中,

$$Theta = \begin{cases} 0, & AL \leq 127.5 \\ 255, & AL > 127.5 \end{cases} \quad (14)$$

结合式(12)、(13)、(14)得到经过优化之后的衰减补偿算法为

$$T(CH, x, y) = K \cdot \frac{S_0(CH, x, y) - Theta}{5 \times Abs[Theta - AL]^{0.811}} + Theta \quad (15)$$

4 实验结果与分析

本文在电脑平台进行实验分析, 处理器为双核 1.86GHz, 采用 MATLAB 2010 进行算法仿真.

4.1 主观评价

主观评价是通过评价人员的主观意识来评判图像的质量好坏. 针对过暗图像: 采用多尺度 Retinex 算法、Fattal 算法对图 2(a)中的原始图进行处理得到图 2(b)、2(c). 可以看出处理之后对比度得到了很大的改善, 整体亮度增大, 但是颜色出现泛灰、不真实. 图 2(d)是本文的算法的处理结果, 不仅提高了对比度、平均亮度, 而且图像色彩真实自然. 针对过亮图像: 采用直方图均衡化、Fattal 算法对图 3(a)中的原图进行处理得到图 3(b)、3(c). 由于直方图均衡化是对直方图上色度分布较密的部分进行拉伸, 色度分布稀疏的部分进行压缩. 从而使整幅图像对比度得到拉伸, 但对于色度概率较小的区域可能出现对比度消弱或消失现象, 可以看出图 3(b)整体对比度得到了很大的提高, 但是出现了细节丢失、颜色失真. 对于 Fattal 算法它通过梯度检测识别出大幅度的亮度变化, 然后对这些大幅度变化进行衰减, 而对小幅度变化进行保留或适当的提升, 最后从新的梯度恢复出结果图像, 从图 3(c)可以看出该算法整体降低了图像亮度, 但也同时降低了图像的对比度. 而图 3(d)是本文算法处理的结果, 可以看出图像亮度适中, 对比度较大, 更加适合人类视觉系统. 针对有雾图像采用: 多尺度 Retinex^[2]、暗通道先验^[4], 图 4(b)是经过多尺度 Retinex 处理后图像, 其中图像的对比度和清晰度明显提高, 但是颜色同样出现不饱和、泛灰. 图 4(c)是经过暗通道先验处理之后的效果, 对比度、清晰度、颜色饱和度都比多尺度 Retinex 要好, 但是图中背景区域中的山全部变成了白色, 导致细节丢失. 图 4(d)是本文算法的处理效果, 相对于前 2 种效果, 颜色饱和的同时背景区域的山也没有丢失. 针对水中的图像: 采用暗通道先验和 WCID 算法^[5]对图 5a 中的图像进行处理得到 5

(b)、5(c),可以看出 WCID 算法处理的比暗通道要好,但是鱼和泥土的颜色出现偏黄,清晰度没有本文算法处理效果好.



(a)原图

(b) Retinex 算法



(c)Fattal 算法

(d)本文算法

图2 过暗图像处理结果



(a)原图

(b)直方图均衡化



(c) Fattal 算法

(d)本文算法

图3 过亮图像处理结果

4.2 客观评价

为了进一步对处理图像进行客观质量评价,我们在^[7-8]的基础上增加了一个清晰度因子,构建了一个适合于恶劣环境下图像的视觉质量的综合评价函数.

$$CAF = AC \cdot AIE \cdot ABWF \cdot ADN^{0.5} \quad (16)$$

式中, AC 为平均对比度, AIE 为平均信息熵, $ABWF$ 为带宽因子和 ADN 为清晰度.下表列出了4组图像采用本文算法及对比算法处理后的有关视觉参数、 CAF 值和运算时间.由表1可知,本文算法



(a)原图

(b) Retinex 算法



(c)暗通道先验算法

(d)本文算法

图4 有雾图像处理结果



(a)原图

(b)暗通道先验算法



(c) WCID 算法

(d) 本文算法

图5 水下图像处理结果

处理后的图像 CAF 值最大,处理时间也只有 Retinex 算法的一半 Fattal 算法的三分之一,虽然 2(c) 它的 AIE 最大,但是它的 AC 、 $ABWF$ 和 ADN 比 2(b) 和 2(d) 小,所以图像整体对比度低,天空区域也变成了灰色,而 2(d) 与 2(b) 相比 AIE 较小,但是其余几个视觉因子较大,这是因为本文算法是通过减小 AIE 来增强其它视觉除因子.由表2可知 3(d) 的 CAF 值最大,运算时间也只有直方图均衡化的 2 倍.同样由表3和表4得知本文的算法不仅 CAF 值最大并且处理速度最快.综合分析可知,衰减补偿算法可以使图像的对比度更高,图像更清晰,并且处理速度上也有很大的提升.

表 1 过暗图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
2(a)	1.11	3.45	0.48	5.83	0.61	#
2(b)	8.04	4.82	1	23.20	69.92	3.5
2(c)	7.58	6.14	0.84	19.80	67.26	6.3
2(d)	12.15	4.32	1	36.65	94.07	1.65

表 2 过亮图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
3(a)	10.47	6.29	1	55.02	158.15	#
3(b)	12.69	4.96	1	84.83	167.80	0.07
3(c)	7.95	6.81	1	37.35	124.54	0.56
3(d)	15.50	5.34	1	94.23	204.92	0.15

表 3 有雾图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
4(a)	1.27	6.15	0.39	23.53	3.98	#
4(b)	3.07	6.64	1	52.98	78.33	0.23
4(c)	3.48	5.93	0.81	65.01	70.02	2.5
4(d)	3.67	7.11	1	70.19	112.13	0.15

表 4 水下图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
5(a)	1.81	5.95	0.71	17.75	15.30	#
5(b)	3.24	6.67	1	30.74	62.83	9.0
5(c)	3.18	7.06	0.94	35.29	66.38	7.5
5(d)	3.43	6.83	1	38.65	75.44	0.71

5 结束语

本文针对图像传感器在恶劣环境下采集到的图像的缺陷,建立了衰减补偿模型,提出了一种衰减补偿算法,通过软件的方式对图像传感器的缺陷进行补偿,然后通过分析图像视觉参数,提出了一种适合于恶劣环境下图像的视觉质量综合评价函数,从客观和主观上同时验证了衰减补偿算法不仅有更好的视觉效果并且处理速度快.同时该理论为复杂环境

下视频的缺陷补偿提供了一个新的思路.

参考文献:

- [1] 许志远,柳晓鸣. 基于双线性插值动态直方图均衡化的雾天图像增强算法[J]. 大连海事大学学报, 2010, 36(3): 64-68.
- [2] 李菊霞,余雪丽. 雾天条件下的多尺度 Retinex 图像增强算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(3): 299-301.
- [3] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [4] He K, Sun J, Tang X. Guided image filtering [C]// Computer Vision - ECCV 2010. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010: 1-14.
- [5] Chiang J Y, Chen Y C. Underwater image enhancement by wavelength compensation and dehazing[J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2012, 21(4): 1756-1769.
- [6] 方紫娟,谢正祥,冯鹏,等. 快速自适应最佳化算法在望远视频图像中的应用[J]. 传感技术学报, 2013, 9(21): 1265-1269.
- [7] 谢正祥,王志芳,熊兴良,等. 基于视觉感知噪声模型的彩色图像质量评价和彩色图像质量最佳化[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1454-1464.
- [8] 陈勇,李愿,吕霞付,等. 视觉感知的彩色图像质量积极评价[J]. 光学精密工程, 2013, 21(3): 742-750.

作者简介:

刘杰男, (1963-), 硕士研究生. 研究方向为视频图像处理及应用. E-mail: 466914350@qq.com.

(上接第 53 页)

- [4] Cleve S, Bogani A I, Pivetta L. A low-cost high-performance embedded platform for accelerator controls[C]// PAC2012. India, Kolkata, 2012(34): 201-213.
- [5] Koh J H, Choi B W. Real-time performance of real-time mechanisms for RTAI and xenomai in various running conditions[J]. International Journal of Control & Automation, 2013, 6(1): 134-146.
- [6] Kang S, Wei S, Ren Zhenxing. Data concentrator based on xenomai and RTnet[J]. Computer Knowledge and Technology, 2013(8): 84.
- [7] 李书根, 潘海燕, 王培. 一种嵌入式实时操作系统高可靠文件系统[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(3): 14-16.
- [8] 刘胜, 王丽芳, 蒋泽军. 基于多核 PC 的 Linux 系统实

时性改造[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(8): 120-123.

- [9] Netland O, Skavhaug A. Software module real-time target: improving development of embedded control system by including simulink generated code into existing code[C]// Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), 2013 39th EUROMICRO Conference on. Spain, Santander, IEEE, 2013: 232-235.

作者简介:

杨丰瑞男, (1963-), 博士, 教授. 研究方向为通信新技术应用.

王兵(通讯作者)男, (1989-), 硕士. 研究方向为通信新技术应用. E-mail: vstongxin2008@126.com.