

改进暗通道先验的视频监控中去雾算法

陈翔

(贵州黔程慧通科技发展有限公司, 贵州 贵阳 550008)

摘要:进行景物暗通道监控环境的视频监控期间,一旦视频监控区域之内,出现浓雾情况时,那么监控中所获取的视频数据将会变得模糊,引起环境异常变化的物体颜色、形状、轮廓等信息都会受到雾气的影响。为了提高图像去雾的效果,提出改进的划区域暗通道去雾算法。根据不同区域的灰度值的差异特性,利用阈值法把有待检测的有雾视频帧图像分为多区域,再利用全局大气光照度和各区域的局部透射率得到去雾图像。试验结果表明,该方法与其他去雾算法相比,提高了有雾图像的处理速度,且提升了去雾图像质量。

关键词:暗通道;大气模型;引导滤波

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2022)11-0137-03

1 大气散射模型

当监控天气为大雾状态时,空气中往往会含有极多的悬浮粒子,所有的微粒均携带一定的物理作用,包括吸附作用、折射作用以及散射作用等^[1]。3种作用中影响最为突出的就是悬浮粒子,其作用生成的过程中,会使得光线中的相关能力开始大幅度衰减,此时监控成像设备中所接入的入射光线之内,随之出现两种散射状况。

空气之中,超出60%以上的悬浮颗粒的表面之上,均需要对现有的目标景物实际反射光形成一定的散射效用,导致监控成像设备所监控到的所有目标景物之上的表面,对应的反射光能力随之降低。此外,当前外界大气之中所含有的散射光线,也会造成视频监控设备的现有大气光逐渐增强。

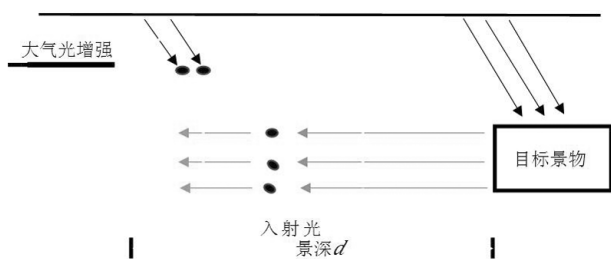


图1 雾天大气散射模型

图1为雾天大气散射模型,上文提到的状态一对应的是入射光衰减模型,状态二对应的是大气光增强模型。

入射光衰减表达式如式(1)所示:

$$E_0(d, \lambda) = E_0(\lambda) e^{-\beta(\lambda)d} \quad (1)$$

式中: $E_0(d, \lambda)$ ——入射光; λ ——光波的长度; $\beta(\lambda)$ ——大气实际散射系数。此外,当景深(d)开始逐渐增大时,对应的入射光衰减表现可通过指数变化形式出现。

而对于大气光增强表达式如式(2)所示:

$$E_A(d, \lambda) = E_z(\lambda) (1 - e^{-\beta(\lambda)d}) \quad (2)$$

式中: $E_A(d, \lambda)$ ——距离目标景物 d 处散射后的大气光强度; $E_z(\lambda)$ ——未被散射的大气光强,其他参数同式(1)。

当监控成像设备接受光强时,则其计算如式(3)所示:

$$E(d, \lambda) = E_0(d, \lambda) + E_A(d, \lambda) \quad (3)$$

将式(1)和式(2)带入式(3),可得式(4):

$$E(d, \lambda) = E_0(\lambda) e^{-\beta(\lambda)d} + E_z(\lambda) (1 - e^{-\beta(\lambda)d}) \quad (4)$$

令 $I(x) = E(d, \lambda)$, $t(x) = e^{-\beta(\lambda)d}$, $J(x) = E_0(\lambda)$, $A = E_z(\lambda)$,由此计算公式应用下,那么其计算公式就是雾状天气下的大气散射计算模型,就可简化如式(5)所示:

$$I(x) = J(x)t(x) + A[1 - t(x)] \quad (5)$$

式中: x ——图中某个像素点所处的位置; $I(x)$ ——在雾天采集到的原始图像,即含雾图像; $J(x)$ ——在雾天图像质量退化前的图像,也就是过去雾处理后的图像,即想要获取的去雾图像; $t(x)$ ——光在空气中的透射率; A ——大气光强度。

2 暗通道去雾算法

2.1 暗通道先验原理

1988年,西方学者首次对外公布了暗通道先验去雾方案^[2],该方案在执行之下,其核心思维主要在于进行景物的部分物体颜色变暗处理阶段,分析其所受的大气光影响情况,并及时根据监控结果去掉目标景物之中暗区域颜色内出现雾图像中物体的颜色,原因在于此部分的颜色变化就是在大气光影响下所生成。

该方法适用于雾气分布均匀的场景,但是在实际雾天环境中,雾气的分布一般是不均匀的。但是在相关研究工作开展的过程中,由于工作人员对于监控图像之上不同区域的区分处理工作并未重视起来,所以造成监控去雾图像之内所存在的部分区域模糊不清问题并未得到解决和优化,且造成其他区域随之开始出现过渡改善颜色而形成画面失真类问题。

面对上述情况,进行解决方案制定时,2009年何恺明等相关

学者进行了相关实验分析,期间对在户外所采集的 5000 幅全彩色图象数据展开对应的实验分析工作^[9]。在此实验过程中,工作人员进行实验处理时,重点针对所采集的户外图象内非天空区域进行最小滤波操作,处理的图像块大小均为 15×15。对所有统计信息进行整理后可发现,5000 幅图象中,超出 90% 以上的图像像素数值均低于 25。

在既有的实验调查基础之上,学者何恺明随之提出了新的暗通道先验理论,在理论中重点提到,所有在晴朗且无雾的田间场景中监控拍摄整理的户外图像,排除掉拍摄到天空的图像以外,剩余的局部区域之内,经常存在较多的像素点,且其单个/多个颜色通道之内,均含有相应的极小值,该极小值无限接近于 0,本次学者研究中将其命名为暗元素,且将含有暗元素的位置称之为暗通道。

对暗通道进行数学定义,对于任意输入的图像 J,其暗通道可表示为式(6):

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} [\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y)] \quad (6)$$

式中:c——r, g, b 三通道中的某个像素通道;Ω(x)——以像素 x 为中心的区域;J^c(y)——在 Ω(x) 区域中三通道中的某个像素通道值。如果 J 是晴天无雾获取的图像,则由多个像素点 x 组成的图像被称为暗通道图像,此时出天空以外的区域中, J^{dark}(x) 的数值极小,接近甚至等于 0,如式(7)所示:

$$J^{dark}(x) \rightarrow 0 \quad (7)$$

2.2 大气光值的求解

在近年一些研究中,不同学者的获取大气光值的方式各不相同,在暗通道先验去雾方法中何恺明采取的方式为:首先在暗通道图中获取像素值大小前 0.1% 的像素点;再将获取到的像素点的位置映射到原有雾图像的灰度图像上,在灰度图像的相应位置上的最大值即为 A 值。

2.3 透射率的估计

结合暗通道先验理论及式(5)雾天大气散射模型,可以对透射率进行粗略估计首先假设有原始有雾图像 I 和大气光值 A 是已知的,对式(5)变形可得式(8):

$$\frac{I^c(x)}{A} = t(x) \frac{J^c(x)}{A} + 1 - t(x) \quad (8)$$

式中:c——彩色图像的 r, g, b 中某一通道。

假设透射率在一定范围内 Ω(x) 内是不变的,用 t(x) 来表示,结合式(6)对式(8)两边变换,即对等式两边进行两次取最小值,可得式(9):

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left[\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(x)}{A} \right] = t(x) \min_{y \in \Omega(x)} \left[\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{J^c(x)}{A} \right] + 1 - t(x) \quad (9)$$

由暗通道先验理论中的论述可知,在无雾图像中 J^{dark}(x) → 0, 将式(6)和(7)带入式(9)可得式(10):

$$t(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left[\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(x)}{A} \right] \quad (10)$$

为了使去雾后的图像更加符合人眼视觉效果。因此,何凯明在式(10)中引入一个 ω[0, 1] 的权重因子,以此来保留少量的雾气,使去雾后的图像更加自然真实,将 ω 的值一般设为 0.95, 则式(10)可以转化为式(11):

$$t(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left[\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(x)}{A} \right] \quad (11)$$

根据公式(5)可以推出去雾图像如式(12)所示:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max[t(x), t_0]} + A \quad (12)$$

式(12)中 t₀ 为 t(x) 的下限值,主要是为防止由于透射率过低而造成去雾后的图像含有较多噪声。最后将求得的大气光值 A 和透射率 t(x) 以及其下限值 t₀ 代入式(12)便可得到去雾后的图像。若直接用式(11)得到的透射率计算,得到的去雾图像将会出现边缘模糊并且产生明显的块效应,需要滤波器对透射率图进行优化。

3 引导滤波

引导滤波属于一类线性滤波器,其在执行滤波处理时,需要在引导图的辅助下完成,所以整个工作过程也被称之为导向滤波。下面在进行研究时,则需要使用 p 去代表滤波图象,而在对经过滤波处理之后的图象进行表示时,则使用 q 来表示。同时,进行处于 i 位置处的像素点进行处理时,对应的滤波输出也可使用加权平均值来指代,最终进行定义公式的整理时,如式(13)所示:

$$q_i = \sum_j W_{ij}(l) p_j \quad (13)$$

式中:i, j 分别表示像素指标;W_{ij}(l) 表示引导图 l 的滤波函数。

为了确保引导滤波可以成立,还需要为其设立对应的前提条件,即要求在一个以像素 k 为中心的二维窗口 ω_k 内,需要滤波输出与引导图像之间,可以呈现线性关系实现,那么最终的线性关系的表达式则如式(14)所示:

$$q_i = a_k l_i + b_k \quad (14)$$

式中:a_k 和 b_k 分别表示二维窗口 ω_k 内线性函数的系数,且两个值均为常量。

开展滤波处理工作期间,技术人员需要将监控图象之中所提取出的噪音,进行单独表达和处理,本次使用了 n 来表达,具体如式(15)所示:

$$q_i = p_i - n_i \quad (15)$$

此阶段下,需要通过图 2 所示的要求,进行包括图 l(引导)、和图 p(原图)、图 q(滤波后)三者之间的关系构建:

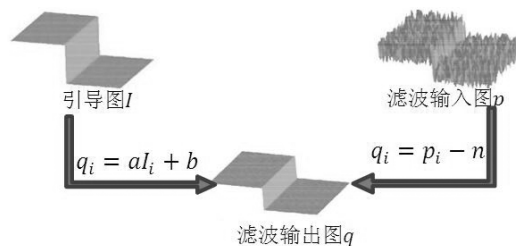


图 2 引导滤波

图2可看出,为最小化输出图像与输入图像之间的差异,实际是求最小化噪声 n ,对于每一个滤波窗口,该算法在最小二乘意义上的最优化可表示为式(16):

$$\operatorname{argmin} \sum_{i \in \omega_k} (a_k l_i + b_k - p_i)^2. \quad (16)$$

此时需要引入正则化参数作为约束项,此时式(16)可转化为式(17):

$$E(a_k, b_k) = \sum_{i \in \omega_k} [(a_k l_i + b_k - p_i)^2 + \varepsilon a_k^2]. \quad (17)$$

式中: ε ——正则化参数,用来约束防止 a_k 过大,其值由人为设定,取值范围为(0,1),求解式(11)可得式(18):

$$\begin{cases} a_k = \frac{\frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} l_i p_i - u_k \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \varepsilon} \\ b_k = \bar{p}_k - a_k u_k \end{cases}. \quad (18)$$

式中: $|\omega|$ 为窗口 ω_k 中的像素个数, σ_k^2 和 u_k 分别为引导图 l 中窗口 ω_k 中像素值的方差和均值, \bar{p}_k 为滤波输入图像 p 中窗口 ω_k 内的均值。

由于在滤波的时候像素 i 会参与多个滤波窗口的计算,需要对像素 i 在所有窗口内计算出的 q_i 值求和取平均,如式(19)所示:

$$q_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} (a_k l_i + b_k) = \bar{a}_k l_i + \bar{b}_k. \quad (19)$$

式中: $\bar{a}_k = \frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} a_k$, $\bar{b}_k = \frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} b_k$ 。

用引导滤波对图像优化的步骤如下:

第一步:计算 l 、 p 、 l^2 以及 $l \times p$ 的均值图像;

第二步:计算 l 的方差图像以及 l 和 p 的协方差图像;

第三步:利用式(17)求出系数 a 和 b ,并在窗口内对 a 和 b 取平均值;

第四步:将得到的 a 和 b 的均值带入式(18),输出最终的图像 q 。

4 一种改进的暗通道去雾算法

本次研究中,比较详细的分析了一种暗通道去雾算法,相较于原有的算法来讲,其经过了改进和优化,且在计算过程中,首先需要将被计算图像的原始雾天图像相关数据获取出来,随后进行大气光值、透射率的估算处理,最后将各项参数直接在雾天大气散射模型中带入,得到更为直观、明确的去雾图像。

4.1 改进的大气光值计算方法

在研究中的有雾图像之内,往往存在一定量的非大气光源,其在亮度分布上,会超出大气光的所在区域。此时,如果结合前文何恺明等学者所研究整理的大气光值计算方案进行处理,那么很容易在进行大气光值收集时,将亮度较高的非大气光源像素点数值作为重点处理数据收集,从而导致实际的计算数值失真。对此,本次研究中在何恺明等学者研究的基础之上,充分给

出了一种计算真实性和精度更高的分区域计算方案,意在借此方案的应用进一步将大气光值的估计精度提升。

4.2 快速引导滤波

进行快速引导滤波的计算时,主要执行了如下图像优化处理流程。

第一步:分别对原始有雾图像和粗透射率图像进行倍下采样,同时将滤波半径缩小相同倍数。

第二步:计算 l' 、 p' 、 l'^2 以及 $l' \times p'$ 的均值图像。

第二步:计算 l' 的方差图像以及 l' 和 p' 的协方差图像。

第三步:利用式(17)求出系数 a' 和 b' ,并在窗口内取平均值。

第四步:由第二步得到的 a' 和 b' 均值图像进行 s 倍上采样。

第五步:将第四步带入式(18)可知,输出最终优化后的图像 q 。改进的暗通道去雾方法过程如下。

(1)输入原始雾天图像 l ,并且分别获取其暗通道图。

(2)用改进的大气光值计算方法估算大气光值 A 。

(3)然后求解各像素点的粗透射率 $t(x)$,得到粗透射率图像 p 。

(4)用 l 的灰度图像作为引导图,使用快速引导滤波方法对粗透射率图处理,得到优化后的细透射率图图像 q 。

(5)由大气光值 A 和细透射率图像得出最终的去雾图像。

5 结论

本文针对视频监控场景易受到雾、霾等天气的影响,对有雾天气对环境异常变化的影响进行了研究。在已有的基于引导滤波暗通道去雾方法的基础上,结合上下采样的方法提高了视频去雾的处理速度,同时采用分区域计算大气光值的方法代替原有的整体取值的方法,使去雾后的图像质量有一定的提升。如何获取自适应透射率以及提高去雾后的图片质量是今后的研究方向。

参考文献

- [1] 曾冬冬.视频监控中的前景目标检测算法研究[D].北京:中国科学院大学,2019.
- [2] HOFMANN M, TIEFENBACHER P, RIGOLL G. Background segmentation with feedback: The pixel-based adaptive segmenter [C]//2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2012: 38-43.
- [3] HE K M, SUN J, TANG X. Single image haze removal using dark channel prior[C]//2009 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2009: 1956-1963.

收稿日期:2022-02-09

作者简介:陈翔(1983—),男,汉族,江西宜春人,硕士研究生,高级工程师,主要从事大数据工作。