



基于 SoPC 的视频图像去雾设计

周 帅, 杨 超*, 印茂伟, 李玉林, 张雨亭

(西南科技大学 国防科技学院, 绵阳 621010)

摘要: 介绍了视频图像快速去雾装置的设计和实现。装置以 ZYNQ 系列的 SoPC(片上可编程系统)芯片作为开发平台, 分析基于物理模型的暗通道先验去雾算法并对算法进行优化, 设计向下最小值求解器完成单帧图像去雾算法的逻辑实现, 提出了基于帧间像素值均值法实现视频去雾算法。通过研究对去雾算法进行优化, 增加算法的可移植度同时使用加速技术提升算法运算的速率, 实现单帧图像快速去雾处理和视频图像的实时去雾处理, 有效地避免了户外成像系统受到雾天的影响, 具有十分重要的科学和工程意义。

关键词: 片上可编程系统; 图像去雾; 暗通道先验算法; 视频图像去雾

中图分类号: TP368.2; TP751.1

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20200524

Design of Video Image Defogging Based on SoPC

ZHOU Shuai, YANG Chao*, YIN Maowei, LI Yulin, ZHANG Yuting

(School of National Defence Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: This paper introduces the design and implementation of video image fast defogging device. The device takes the SoPC (system on a programmable chip) chip of zynq series as the development platform to analyze the algorithm of dark channel prior based on physical model and then to optimize it. A downward minimum solver is designed to achieve the implementation of logic of single image haze removal algorithm, and a video defogging algorithm is proposed based on the average value of interframes pixels. By optimizing the defogging algorithm, the portability of the algorithm is increased. At the same time, the speed of algorithm operation is improved by using acceleration technology. The fast defogging process of single image and real-time defogging process of video image are realized, protecting the outdoor imaging system from fog effectively, which is of very important scientific and engineering significance.

Key words: SoPC; image defogging; dark channel defogging algorithm; video processing

在生活中视频图像随处可见, 存储于手机、电脑等电子设备中。视频图像在保障人们正常生产、维护社会的秩序以及提高人民的生活质量中占有重要地位^[1-2]。而室外监控设备^[3-4]获取到的视频监控图像, 非常容易受到雨雪、雾霾等天气的影响, 造成图像的模糊雾化。本装置在 SoPC 系统上对常用的去雾算法进行优化, 增加了算法的可移植度, 同时使用加速技术提升算法的处理速

度, 实现了单帧图像快速去雾处理和视频图像的实时去雾处理, 有效地避免户外成像系统受到雾天的影响, 具有十分重要的科学和工程意义。

1 总体设计

装置的设计主要包括 SoPC 平台的搭建、软件平台设计、单帧图像和视频图像去雾算法的优化与实现、算法功能测试、基于 SoPC 平台实现图像

收稿日期: 2020-11-02; 修回日期: 2021-04-16

基金项目: 全国高等院校计算机基础教育研究会计算机基础教育教学研究项目 (2021-AFCEC-477); 中国高等教育学会地方大学教育改革重大理论与实践问题研究课题(21DFYB08); 四川省 2021—2023 年高等教育人才培养质量和教学改革项目(JG2021-891&JG2021-885); 西南科技大学校级教改项目(19xn0014&21szyy01&21GJZXZD03)。

作者简介: 周帅(1997-), 男, 硕士研究生, 主要从事图像处理、SoPC 研发方面的工作。

* 通信作者: 杨超(1983-), 男, 博士, 副教授, 主要从事人工智能与创新创业教育研究工作。E-mail: ychao1983@126.com

去雾算法等部分, 总体平台架构如图 1 所示。

其中图像去雾算法优化与实现部分的架构如图 2 所示, 首先对传统的图像去雾算法进行了优化设计, 并在测试平台上完成优化算法的测试仿真; 其次设计单帧图像去雾算法, 并以此为基础设计出视频图像去雾算法; 最后在 SoPC 平台完成图像去雾算法的逻辑实现。

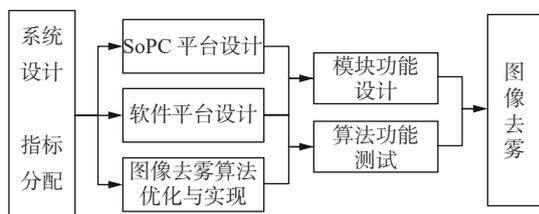


图 1 去雾装置的总体平台架构

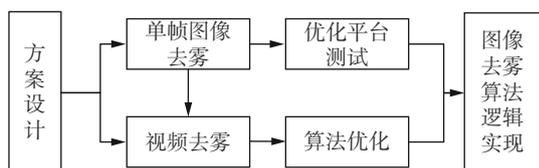


图 2 图像去雾算法优化与实现架构图

2 图像去雾算法

2.1 暗通道先验算法及优化

雾天图像的成像模型^[5]为:

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

式中: $I(x)$ 为雾天图像; A 为大气散射光值; $J(x)$ 为物体反射光的初始强度, 即无雾图像; $t(x)$ 代表透射率, 在整幅图像的处理上, 可代表透射率图。基于暗通道先验理论^[6]可以知道相对于任意的一幅理想无雾图片, 其暗通道模型 $J^{\text{dark}}(x)$ 可定义为:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} (J^c(y)) \right) \quad (2)$$

式中: J^c 是 J 中 RGB 任一颜色通道; $\Omega(x)$ 是以 x 为中心的领域; $\min_{c \in \{r, g, b\}} (J^c(y))$ 是求解出每个通道像素点的最小值; $\min_{y \in \Omega(x)}$ 用来求解以 x 为中心领域的最小值。

利用式(1)和式(2), 同时结合暗通道图的求解以及透射率图和大气散射光值的求解, 推导出图像去雾模型为^[7]:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max [t(x), t_0]} + A \quad (3)$$

式中: t_0 为常数, 初始值为 0.2, 将 t_0 和 $t(x)$ 最大值作为透射率。

经研究分析, 利用传统的图像去雾模型实现单帧图像^[8-9]的去雾处理时, 存在着去雾算法的实现难度大、去雾处理速度缓慢、工程处理时间长等问题。针对后续的去雾算法的深入分析, 我们发现用原始图像的暗通道图可以代替处理过程的透射率图, 基于此可以大大地提高去雾算法效率。最后我们直接利用暗通道图代替透射率图得到优化过后的图像去雾模型为:

$$J(x) = A \frac{I(x) - A}{\max [A - w \times C^{\text{dark}}(x), A t_0]} + A \quad (4)$$

式中, $w \in [0, 1]$ 为常数, 可以保持复原图中有一定雾气, 这里用 $C^{\text{dark}}(x)$ 代替 $J^{\text{dark}}(x)$ 表示暗通道图。

由式(4)可知, 只要将图像的暗通道图和大气散射光值 A 求解出来, 就可利用算法得到去雾图像。这一优化思想极大地降低了算法的复杂度, 同时提高了计算的处理速度。其中优化算法的去雾流程如图 3 所示。



图 3 去雾算法流程图

进一步分析, 可得大气散射光值的求解过程如下:

- 1) 得到原始图像的暗通道图;
- 2) 将一帧图像中每一行像素的最大值求和, 然后取算数平均, 最终得到值就是大气散射光值 A 。

2.2 去雾算法仿真测试

通过搭建测试平台对算法的改进效果进行验证, 平台的设备配置 CPU 采用英特尔 i5-4200H、2.80 GHz 的电脑, 其内存为 8 GB, 操作系统为 64 位 Win10 系统, 同时搭载 2017b 版本 MATLAB。

算法优化前后求得的大气散射光值 A 的测试对比如表 1 所示。

测试结果表明, 优化后的算法得到的大气散射光值比优化前的偏小, 减少了因为大气散射光值过大导致的图像去雾效果差的影响。

接着通过 MATLAB 对优化前的算法和优化后的算法进行效果验证。图 4(a)为原始去雾算法处理的图像, 图 4(b)为优化后算法处理的图像。仿真的结果可以看到优化后的去雾算法不仅能去除图像中的雾气, 并且图像去雾效果更好, 得到的图像更加的清晰自然。

表 1 优化前后大气散射光值 A 对比表

图像	优化前大气 散射光值	优化后大气 散射光值	图像	优化前大气 散射光值	优化后大气 散射光值
	0.844 4	0.747 7		0.849 7	0.716 1
	0.720 3	0.677 7		0.997 4	0.737 2



(a) 原始去雾算法处理图像



(b) 优化去雾算法处理图像

图 4 优化前后

2.3 去雾算法性能分析

利用 MATLAB 对尺寸分别为 600×400、640×480、800×400 的图像进行不同的图像去雾算法处理，然后观察软件抠图以及优化前后的算法处理时间。

在表 2 中可以观察到，优化后的图像去雾算法处理时间明显快于优化前算法和软件抠图。

同时比较图像 SSIM(结构相似性)的值，判断算法性能的好坏。不同的去雾操作得到的 SSIM 值如表 3 所示。

从表 3 中可以看到，经过优化后算法处理的

图像依然与原始图像保持着较高的结构相异性，证明了优化算法的实用性。

表 2 图像去雾操作处理时间

图像尺寸	处理时间/s		
	软件抠图	优化前	优化后
600×400	51.959 7	1.375 9	1.080 6
640×480	66.700 8	1.838 7	1.260 5
800×400	112.177 1	3.644 2	2.043 6

表 3 原图与去雾图的 SSIM

图像尺寸	SSIM值		
	软件抠图	优化前	优化后
600×400	0.996 1	0.988 1	0.994 6
640×480	0.995 8	0.988 9	0.994 4
800×400	0.995 4	0.988 4	0.994 6

3 单帧图像去雾算法的实现

在图像快速去雾装置的实现过程中，最为重要的步骤是求得原始图像的暗通道图和大气散射值^[10]。

深入分析暗通道先验算法的原理，选择利用 5×5 的矩阵生成器产生 5×5 的矩阵作为图像模板。在此基础上，单帧图像的暗通道图的求解可以分解为以下 4 个步骤：

- 1) 在一幅图像中，利用 5×5 模板求出矩阵 5 行中每一行的最小值作为原始元素；
- 2) 比较所有原始元素取最小值；
- 3) 用最小值替代整个矩阵的像素值；
- 4) 循环进行第一步和第三步直到完成单帧图像中所有矩阵的填充，最终得到的图像即为单帧图像的暗通道图。

由于暗通道图的求解中需要求解 5×5 矩阵的最小值，这里设计采用 7 个最小值比较器级联在

一起实现暗通道求解器模块, 大大地缩短了算法的处理时间。

结合去雾算法分析以及算法在 SoPC 上实现难易程度的分析, 装置的设计通过采用最邻近插值法^[11]来实现暗通道图的求解。如图 5 所示为单帧图像暗通道图的求解功能仿真和实测图。

对于大气散射光值的求解, 结合第二小节的

优化算法可知, 我们可以直接利用纯逻辑的编程方式实现大气散射光值的计算求解, 如图 6 所示。

经过以上实验测试表明, 结合 SoPC 平台的优势大大提高了去雾算法的处理速度, 降低了空间复杂度, 同时也证明图像去雾装置实现的可行性, 为后面的视频图像去雾装置的实现提供了坚实的研究基础。

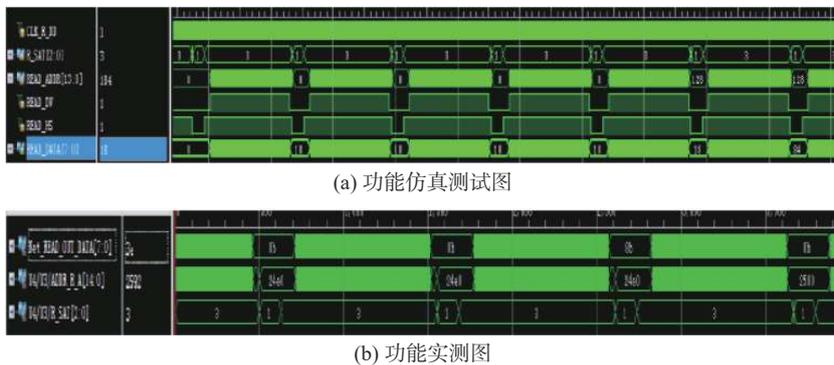


图 5 单帧图像暗通道图求解的功能仿真和实测图

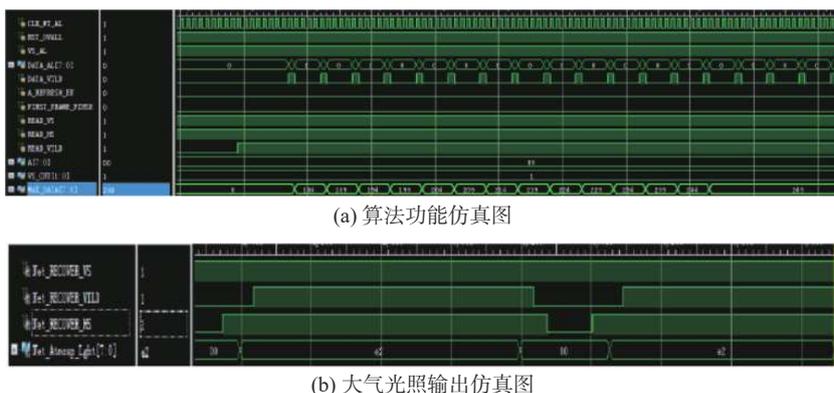


图 6 大气散射光值 A 的求解仿真测试图

4 视频去雾算法的实现

在 SoPC 芯片上实现视频去雾算法的整体结构主要有以下几部分: 初始化视频采集摄像头, 视频流的存储, 利用纯逻辑的方式实现视频图像去雾算法、视频流输出显示等。

其中又将视频图像去雾算法分为 4 个部分: 循环读取处理关键视频帧, 更新大气散射光值和暗通道图, 得到无雾图像, 调整图像的亮度得到最终图像。通过模块化的设计使得整个系统和算法更加稳定可靠。

一幅图像相当于一帧图像, 而视频相当于是由多帧图像组成, 所以在暗通道图的求解方式上是有不同的, 涉及视频流中暗通道图的实时更新。当下常用的视频流求取暗通道图的方法有两

种^[12]: 一种是提取视频流中关键帧作为关键暗通道图; 另一种求取视频流中每一帧图像的暗通道图。考虑到处理的复杂度, 在我们的装置设计实现中采用的是提取关键帧的方法来求取视频流的暗通道图。视频图像去雾算法处理流程图如图 7 所示。

视频图像的显示方式和单帧图像是一样的。深入研究视频图像输出显示中关键帧和数据帧流的关系, 将关键暗通道图求解过程分为以下 5 步:

- 1) 系统工作稳定时, 将第一帧的暗通道图作为关键暗通道图, 通过下采样技术和 SDRAM 存储得到暗通道图数据;
- 2) 当对 1~N 帧之间的图像处理时, 将 SDRAM 中的关键暗通道图读出用于复原每一帧图像;

3) 设置关键帧计数寄存器 Key_Cnt, 记录处理的帧数, 在第一帧图像的暗通道图求解成功后开始对 Key_Cnt 计数逐帧加 1, 当 Key_Cnt=9 时, 控制更新暗通道图的使能信号由低电平变为高电平;

4) 当更新使能信号翻转过后, Key_Cnt 计数器再次变为 0, 同时将 SDRAM 中的第 1 帧暗通道图数据和求得的第 N+1 帧关键暗通道图求和平均得到更新的暗通道图, 更新存储到 SDRAM 中;

5) 然后 Key_Cnt 重新计数, 如此循环直到视频流结束。

视频流的暗通道图求解算法的功能测试仿真图如图 8 所示。

在视频图像去雾算法中, 对大气散射光值 A 的求解与单帧图像的求取有所不同, 其求解的过程分为以下 3 个步骤:

1) 在系统工作稳定时, 需要利用最大值比较器去求取暗通道图, 初始化比较器, 设置其阈值为 50; 在求解出来过程中, 将像素点值同该阈值相比较; 当像素点值小于阈值时, 比较器阈值不变, 大于阈值时, 自动更新阈值。当所有的像素值对比后, 最后保留的阈值即为第 1 个大气散射光值。

2) 求得第 1 个大气散射光值后, 大气散射光的关键帧计数寄存器 A_Cnt 在关键帧计数寄存器 Key_Cnt 的驱动下计数, 当 A_Cnt 计数从 0~100 时,

更新使能信号由 0 变为 1。并且又重新进行步骤 1)。

3) 在更新使能信号上升沿的驱动下, 将求得的第一个大气散射光值与当前的大气散射光值求和然后平均, 接着将该平均值替换做新的大气散射光值, 最后不断重复步骤 1)~步骤 3) 形成视频流操作。大气光照求解算法测试仿真图如图 9 所示。

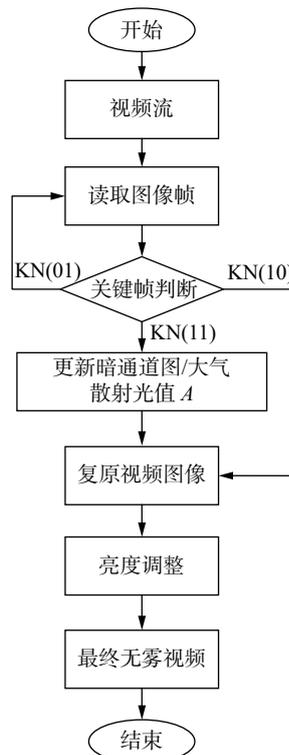


图 7 视频图像去雾算法处理流程图

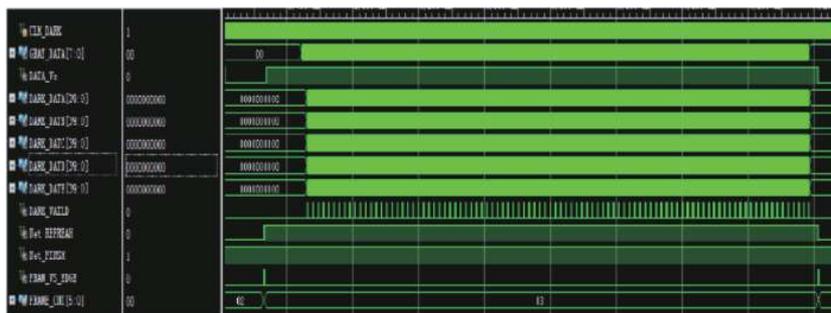


图 8 暗通道图求解算法的功能测试仿真图

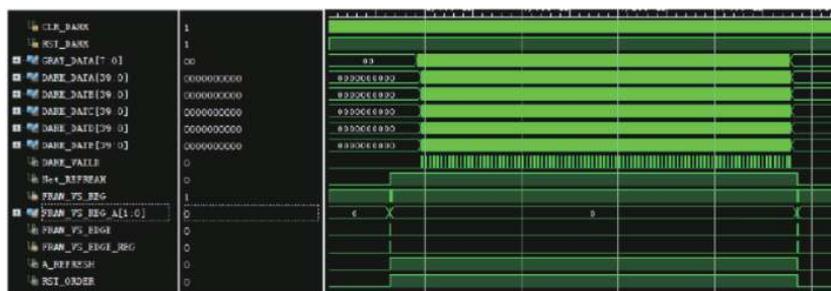


图 9 大气光照求解算法测试仿真图

5 装置测试结果

对装置的最终设计结果进行测试, 实际的装置图如图 10 所示, 图像快速去雾装置的实测图如图 11 所示。测试结果表明基于 SoPC 的图像去雾装置的去雾效果良好, 同时得到的视频画面流畅、对比度高, 达到了设计的要求。

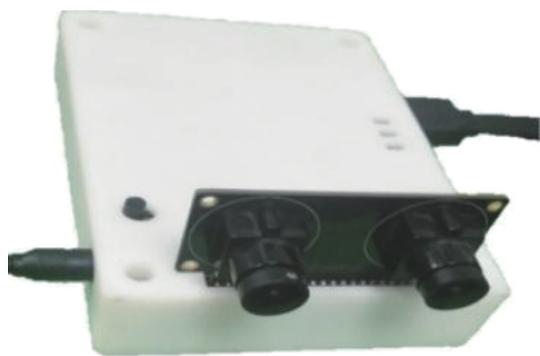


图 10 装置实物图



(a) 去雾前

(b) 去雾后

图 11 装置的实测图

6 结束语

在本文的设计过程中, 我们首先提出了图像去雾装置的整体结构设计以及去雾算法优化的测试平台设计。然后深入分析了暗通道先验算法原理以及图像去雾模型, 发现用原始图像的暗通道图可以代替处理过程的透射率图, 基于此提出了优化的图像去雾模型。紧接着通过 MATLAB 对优

化算法进行仿真验证, 仿真结果表明了优化后的算法得到的大气散射光值比优化前的偏小, 使得图像去雾效果更好; 同时对去雾算法性能分析证明了优化算法的实用性。逐步实现了单帧图像去雾, 并在此基础上设计了视频图像去雾的算法流程, 完成了视频图像去雾装置的实现。最终对视频图像去雾装置进行实测, 得到的视频图像去雾效果明显、对比度高、颜色自然, 达到了设计的要求。

参考文献

- [1] 谢丁峰, 周安众. 视频图像处理与应用研究[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(8): 69-70.
- [2] 吴巧林. 视频图像处理与传输技术研究及应用[J]. 西部广播电视, 2020, 41(17): 200-202.
- [3] 王蕾蕾, 王鑫, 段新涛, 等. 图像去雾在校园监控中的应用[J]. 电视技术, 2017, 41(11): 232-236.
- [4] 吴迪, 朱青松. 图像去雾的最新研究进展[J]. 自动化学报, 2015, 41(2): 221-239.
- [5] 蒋建国, 侯天峰, 齐美彬. 改进的基于暗原色先验的图像去雾算法[J]. 电路与系统学报, 2011, 16(2): 7-12.
- [6] 肖进胜, 高威, 邹白昱, 等. 基于天空约束暗通道先验的图像去雾[J]. 电子学报, 2017, 45(2): 346-352.
- [7] 甘佳佳, 肖春霞. 结合精确大气散射图计算的图像快速去雾[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(5): 583-590.
- [8] 孙维江. 基于暗通道先验信息的单帧图像去雾研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2018.
- [9] 钟仡龙. 单帧图像去雾处理算法研究及软件实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [10] 刘言, 张红英, 吴亚东, 等. 基于半逆法的一种快速单帧图像去雾算法[J]. 图学学报, 2015, 36(1): 68-76.
- [11] 孟利民, 包轶名. 基于局部特征的图像插值算法在 B/S 视频监控中的应用[J]. 浙江工业大学学报, 2015, 43(2): 217-221.
- [12] 廖鹏. 基于 SoPC 的图像快速去雾算法研究与实现[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2019.

编辑 张俊