

文章编号 1004-924X(2017)增-0191-08

导向滤波的航拍图像快速去雾方法及云系统实现

潘蓉, 孙伟*, 赵春宇

(西安电子科技大学空间科学与技术学院, 陕西西安710118)

摘要:提出一种基于导向滤波的航拍图像去雾方法,并实现了基于云计算的去雾系统用于视觉导航和侦察。首先通过暗影通道计算航拍图像的大气幕函数,利用导向滤波计算大气幕函数的边缘保持估计;然后计算原图像和大气幕函数的残差图像并提取其亮通道;最后根据光照反射模型获得场景的反射系数作为复原图像。该方法无需求取全局大气光,利用导向滤波算法可以获得更好的图像细节与整体可见度。与传统的无人机机载处理系统相比,借助云计算强大的分布式计算能力和海量存储能力使得该去雾系统更高效、快速,提高了无人机的续航时间,使实时航拍全天候侦查成为可能,具有广泛的应用前景。

关键词:航拍图像去雾;导向滤波;亮通道;光照反射模型;云计算

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20172513.0191

Quick defogging and cloud system realization for aerial image of guided filter

PAN Rong, SUN Wei*, ZHAO Chun-yu

(School of Aerospace Science and Technology, Xidian University,
Xi'an 710071, China)

* Corresponding author, E-mail: wsun@xidian.edu.cn

Abstract: A defogging method of aerial image based on guided filter was proposed, and application of defogging system based on cloud computing in visual navigation and reconnaissance was realized. Firstly, atmospheric curtain function of aerial image was calculated by shadow channel, and edge preservation estimation of atmospheric curtain function was calculated by guided filter; then, residual image of original image and atmospheric curtain function were calculated and bright channel was extracted; finally reflection coefficient of scene was obtained according to light reflection model as recovered image. It wasn't needed to obtain global atmospheric light and better image details and overall visibility by guided filtering algorithm. The defogging method was implemented by powerful computing resources of cloud computing. Compared with traditional airborne processing system by unmanned aerial vehicle (UAV), using powerful distributed computing power and massive storage capacity of cloud computing makes defogging system more efficient and quicker. It improves duration of flight of un-

收稿日期:2017-06-01;修订日期:2017-06-27.

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(No. 61201290),国家自然科学基金面上资助项目(No. 61671356),中央高校基本科研业务费资助项目(No. JB161301;No. JBG161307)

manned aerial vehicle, makes all-whether reconnaissance of real-time aerial photography become possible, and has extensive application prospect.

Key words: haze removal for aerial images; guide-filter; max channel; illumination model

1 引言

关于无人机的热门研究主要应用在目标跟踪、测绘及地质灾害预防和控制等方面^[1]。无人机侦查的主要任务为采集到高质量图像,但是由于雾霾天气的频繁出现或者飞行高度高于 100 m 时空中能见度的下降,使得无人机采集的航拍图像对比度和颜色保真度下降,其中的目标辨识度也下降^[2]。而且当无人机返回的航拍图像是雾霾图像时,会影响操作者对其的操控而造成安全事故,因此对无人机采集的航拍图像进行去雾处理十分迫切。因此,本文从系统构建和算法研究两个方面开展工作。

首先,针对航拍图像去雾方法进行了深入研究。在航拍图像去雾方法研究方面,NASA 提出多尺度 Retinex 颜色恢复方法^[3](Multi Scale Retinex with Color Rendition, MSRRCR)对彩色航拍图像进行了雾霾去除和光照恢复,但由于对高频和低频分量分别处理,造成了边缘过分饱和的情况以及基于原图像中 R、G、B 通道在原图中所占比例进行颜色恢复,易导致复原后部分区域颜色失真^[4]。He^[5]等通过暗影通道估计场景雾霾的浓度和物体的深度信息来进行彩色航拍图像雾霾的去除,但是在航拍图像中存在大面积白色区域或天空的情况下该方法使用受到限制^[6]。而大气光和透射率的估计误差,会产生效率低下以及天空等明亮灰白区域去雾后的色彩失真问题,本方法以首先根据暗通道先验规律,利用大气散射模型及光学反射模型即可恢复出无雾图像。该算法在对比度增强程度和色调还原程度、结构信息复原程度方面的综合指标都优于其他算法。

其次,提出了基于云计算的无人机图像处理框架。因为图像去雾方法包含大量的数据处理算法,无人机的机载处理器功耗较大,会影响无人机的飞行时间^[7-8];云计算拥有庞大的计算资源^[9-11],因此引入云计算来解决无人机图像去雾系统现存的问题,可以降低无人机的运算负担及功耗。同时云计算永久在线的特性^[2]保证了用户

可以随时随地使用无人机的图像去雾云平台,不再受时间地点限制。将无人机系统与云计算结合起来,在网络的强大支撑下,无人机的执行任务的能力、安全性能和飞行时间得到了很大提升。

2 系统方案总体设计

按照系统总体设计方案,系统主要有 3 个部分组成:

(1)无人机执行单元。根据系统方案,选择大疆创新科技有限公司面向开发者推出的经纬 M100 开发者套装。该套装主要由经纬 M100 飞行平台、禅思 X3 云台相机(搭载全方位云台的 4K 相机)、妙算(Manifold, 机载计算机)、Guidance(提供 5 个方向的深度感知)等硬件设备组成。无人机执行单元通过局域网与地面站系统通信。

(2)地面站系统。地面站系统主要由遥控器、Android 终端设备和地面站软件组成,将 Android 设备通过 USB 与遥控器互联,实现终端与经纬 DJI M100 通信、无人机反馈信息显示等功能。

(3)视频去雾云计算平台。根据系统方案,此部分是基于云计算的无人机图像去雾系统的核心。通过使用该平台,可以将本文的图像去雾算法和无人机执行单元及地面站分离开来,提高算法的运行效率,更好的实现视频去雾的实时性。本文构建的图像去雾云平台开放的接口有图像去雾接口和视频去雾接口,根据具体场景,灵活选择合适的云平台接口。

根据系统组成描述,系统的结构如图 1 所示。

3 导向滤波的图像去雾算法

在经典的几种去雾算法中,包括何凯明的暗通道去雾、Tarel 的基于中值滤波的去雾以及一些基于其他边缘保留的方法中,都有一个普遍存在的问题:即对天空部分处理得不好,天空往往会出现较大面积的纹理及分块现象。究其主要原因,还是因为天空部位基本上是不符合暗通道去

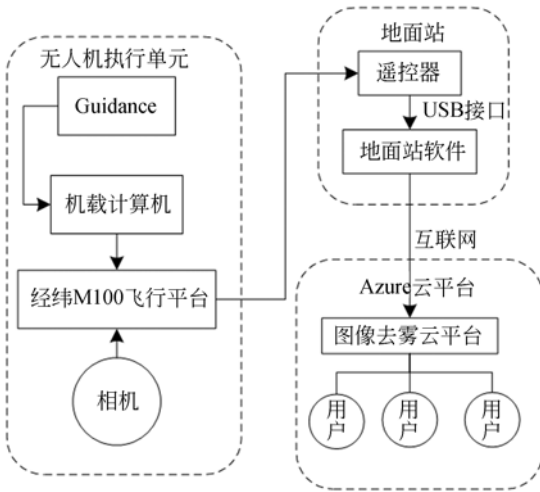


图 1 基于云计算的无人机图像去雾系统结构

Fig.1 Block diagram of image dehazing system of UAV based on the cloud computing

雾先验这个前决条件的。

本文提出了一种基于导向滤波的快速图像去雾算法,首先用雾霾图像的暗通道图像初步估计大气幕图像;通过灰度开运算和导向滤波,得到大气幕图像;将雾霾图像与大气幕图像做差,对残差图像的亮通道图像进行灰度闭运算和导向滤波,得到光照分量图像;代入光照-反射成像模型中,求解即可得到场景的 RGB 通道的反射系数。

3.1 大气幕函数估计

通常使用的雾、霾天气条件下单色大气散射模型^[12]描述如下:

$$L(x, y) = I(x, y)e^{-kd(x, y)} + A(1 - e^{-kd(x, y)}), \quad (1)$$

其中: $L(x, y)$ 是雾霾图像, $I(x, y)$ 为场景的反射光线强度,即复原图像, k 为大气散射系数, $d(x, y)$ 是场景深度, $e^{-kd(x)}$ 为透射函数, A 是全局环境光强度,在式(1)的模型中为全局常量。其中大气幕函数为 $V(x) = A(1 - e^{-kd(x)})$ 。根据暗影通道原理,用雾霾图像 $L(x, y)$ 的最小颜色分量作为大气幕亮度 $V(x, y)$ 的初步估计,经过灰度开运算和导向滤波细化,获得较精确的大气幕函数 $V(x, y)$ 估计。

3.2 残差图像计算

光照-反射模型认为,图像由光照分量和反射分量构成^[13],用式(2)表示为:

$$I(x, y) = I_0(x, y)R(x, y), \quad (2)$$

其中, $I(x, y)$ 为传感器采集到的图像, $I_0(x, y)$ 为光照分量,指场景的光照强度, $R(x, y)$ 为目标的反射系数,是物体的固有特性。

将大气散射物理模型用光照反射成像模型表示,并将雾霾图像 $L(x, y)$ 与大气幕图像 $V(x, y)$ 相减,即得到残差图像 $E(x, y)$,如式(3)所示:

$$E(x, y) = L(x, y) - V(x, y) = I(x, y)e^{-kd(x, y)} - [I_0(x, y)e^{-kd(x, y)}]R(x, y). \quad (3)$$

3.3 导向滤波求解反射分量

选取每个像素点的 RGB 通道的最大值,定义其为亮通道。对残差图像 $E(x, y)$ 计算其亮通道,将其作为光照分量 $S(x, y) = I_0(x, y)e^{-kd(x, y)}$ 的粗估计 $S_{rough}(x, y)$ 。对光照分量粗估计值进一步进行灰度闭运算得到结果 S_{close} 。为了既能保持亮通道 S_{rough} 的边缘信息,也能使 S_{close} 更进一步平滑,本算法对 $I = S_{close}$ 和 $p = S_{rough}$ 进行导向滤波。

导向图滤波通过引导图 I ,对目标图像 p (光照分量的粗估计图像)进行滤波处理,使得最后的输出光照分量估计图大体上与目标图像 p 相似,但是纹理部分与引导图 I 相似。输入输出满足线性关系,如式(4):

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in \omega_k. \quad (4)$$

输入图像和输出图像的梯度线性关系,保证了导向滤波有边缘保持特性。通过最小化代价函数,使得拟合函数的输出值与真实值 p 之间的误差最小。代价函数定义如式(5):

$$E(a_k, b_k) = \sum_{i \in \omega_k} ((a_k I_i + b_k - p_i)^2 + \epsilon a_k^2), \quad (5)$$

其中, p_i 为待滤波图像在 i 处的像素值, I_i 是导向图在 i 处的像素值, ϵ 为调整系数,用于防止 a_k 的值过大。导向滤波在保持双边带的优势的同时(有效保持边缘,非迭代计算),又克服双边带的缺点(设计一种时间复杂度为 $O(1)$ 的快速滤波器,而且在主要边缘附近没有梯度的变形)。通过最小二乘法,得到使公式(5)最小化的系数 a_k 和 b_k ,如式(6):

$$a_k = \frac{\frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} I_i p_i - u_k p_k}{\sigma_k^2 + \epsilon}, \quad (6)$$

$$b_k = p_k - a_k u_k.$$

其中, u_k 是导向图 I 在窗口 ω_k 中的平均值, σ_k^2 是导向图 I 在窗口 ω_k 中的方差, $|\omega|$ 是窗口 ω_k 中像素的数量, p_k 是待滤波图像 p 在窗口 ω_k 中的

平均值。输出像素由多个线性函数所描述,如式(7):

$$q_i = \frac{1}{|\tau\omega|} \sum_{k: i \in \omega_k} a_k I_i - b_k = \bar{a}_i I_i - \bar{b}_i, \quad (7)$$

其中, $\tau\omega_k$ 是所有包含像素 i 的窗口, k 是其中心位置。

当引导滤波作为边缘保持滤波器时,如果 $\epsilon > 0$,在像素强度变化小的区域(或单色区域), a 近似于(或等于)0,而 b 近似于(或等于) p_k ,即做了一个加权均值滤波;而在像素强度变化大的区域, a 近似于 1, b 近似于 0,对图像的滤波效果很弱,有助于保持边缘。在窗口大小不变的情况下,随着 ϵ 的增大,滤波效果越明显。由于该方法时间复杂度与窗口大小无关,因此在使用大窗口处理图片时,其效率更高。

估计出光照分量后,可求解场景的 RGB 分量的反射系数 $R(x, y)$,如式(8),最终增强结果:

$$R(x, y) = \frac{E(x, y)}{q(x, y)}. \quad (8)$$

图 2 给出了针对机场的航拍图像的结果,并与 He 的暗影通道及 NASA 提出的 MSRCR 算法进行了比较,可以看出,本文提出的算法较好地恢复了图像的细节及色彩,主观保真度远远超过了 He 及 MSRCR 的多尺度高斯的光照估计方法。

为了进一步验证本文提出算法的有效性,针对 NASA 给出的 3 幅代表图像,表 1 给出了客观的比较结果。在图像去雾领域的盲评方法主要是由 Hautiere 等人提出的可见边梯度法^[14-15]。该方法采用原图像与恢复图像的新可见边集合数目

比(e)和平均梯度比(r)来客观评价图像的去雾效果。 Σ 定义为恢复后变为全黑或全白的图像像素的比例, C_{gain} 定义为图像恢复前后的增益的比例,较大的 e, r, C_{gain} 值和较小的 Σ 值表示算法的性能较好。从表 1 中可以观察到在三幅图像复原过程中,本文算法处理后的 $e, \bar{r}, C_{\text{gain}}$ 值大于 NASA 算法中的值,且同时 Σ 值小于 NASA 算法。



(a) 雾霾图像
(a) Origin image
(b) He暗影通道
(b) Result of NASA recovery algorithm



(c) NASA MSRCR恢复
(c) Result of this paper algorithm
(d) 本文复原的场景的反射率图像
(d) Result of this paper algorithm

图 2 对航拍图像复原结果图像

Fig. 2 Results of aerial image restoration image

表 1 NASA 算法和本文算法结果比较

Tab. 1 Result comparison of different algorithms

图像	Aero				Airport				Science			
	e	r	Σ	C_{gain}	e	r	Σ	C_{gain}	e	r	Σ	C_{gain}
NASA	0.1599	2.6094	0.0014	1.0405	0.0008	3.3671	0.8140	1.4372	0.1314	3.3764	0.0125	2.1725
本文算法	-0.0106	2.8094	0.0044	1.0879	-0.0535	3.5231	0.7073	1.6580	0.2084	3.7563	0.0094	2.5617

从图 2 和表 1 的对比结果可知,与 He 及 NASA 的算法相比,本文复原后的图像的细节及图像整体能见度较高,场景中颜色饱和度适中,复原后的图像更加真实自然。

4 图像去雾云平台设计

在无人机的机载处理器上运行上述图像去雾

算法时,延长了图像去雾的时间,降低了图像去雾的实时性,增加了机载处理器的运算量和功耗。为此,把上述的图像去雾算法移植到云计算平台。

云计算平台是将超级数据中心的计算资源通过互联网提供给客户的一种服务模式。云计算 3 种服务模式的特点如表 2 所示。

表 2 云计算的 3 种服务的特点

Tab. 2 Performance comparison of three service modes

	基础结构即服务(IaaS)	平台即服务(PaaS)	软件即服务(SaaS)
服务形式	提供服务器、存储和网络硬件以及相关软件	只需要利用 PaaS 平台,就能够创建、测试和部署应用程序和服务	将应用程序提供给互联网最终用户
应用特点	操作系统接入,云存储,有限权限的网络组建(防火墙、路由器、负载均衡器)的控制	复杂多租户应用,已有应有的兼容,构建复合应用	无需管理软硬件,服务通过浏览器实现
优势	节省费用,灵活,可随时扩展和收缩资源,安全可靠	开发简单,部署简单,维护简单	简单,初始成本低,无需管理维护
缺点	需要自己配置	必须使用指定的开发语言	遵循云计算服务商的框架内开发
视觉优势	可调用开源的视觉处理算法的 API	可调用一些开源的视觉处理算法的 API	可调用一些开源的视觉处理算法的 API

其中百度、阿里等提供的云服务器即基于硬件的 IaaS 级别的服务,灵活性高,但服务器配置、环境配置繁琐,而微软 Azure 提供的 Windows Azure Platform 即基于平台的 PaaS 级别的服务,提供近乎无限量的可保存任意时长的存储空间,且适用于多租户应用和构建复合应用,更适合无人机图像去雾平台,因此选择微软的 Windows Azure Platform 云计算平台。Windows Azure Platform 提供了两种 PaaS 级别的服务:Windows Azure Web Sites 和 Windows Azure Cloud Service^[16]。由于 Windows Azure Cloud Service 对操作系统具有更高可控制权、可缩放 n 层云应用程序^[17],更能满足图像去雾系统的要求,因此选择 Windows Azure Cloud Service 作为图像去雾系统的开发平台。

4.1 Windows Azure Platform 架构原理

Windows Azure Platform 是一个运行在微软数据中心的云计算平台,包括 Windows Azure、SQL Azure、Windows Azure Platform AppFabric^[18],其构架如图 3 所示。

图像去雾云平台在 Windows Azure 上运行^[19],使用云计算资源和云存储,同时使用控制器对云平台上的资源进行管理分配,其结构如图 4 所示:

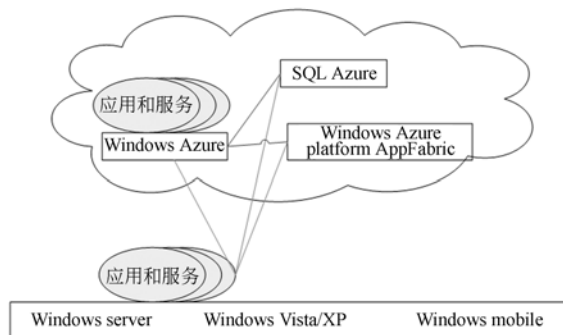


图 3 Windows Azure Platform 构架图

Fig. 3 Architecture diagram of Windows Azure Platform

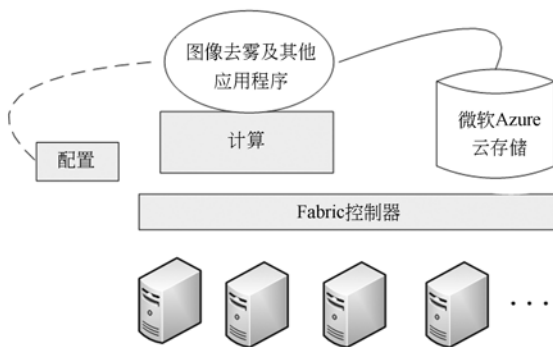


图 4 Windows Azure 操作系统的结构图

Fig. 4 Structure diagram of Windows Azure operating system

图像去雾云平台角色的配置如图 5 所示：

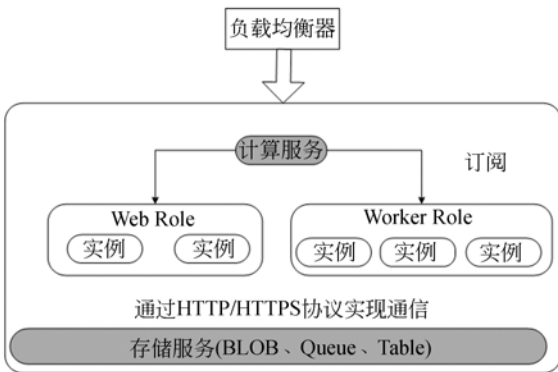


图 5 图像去雾云平台中角色配置图

Fig. 5 Role configuration diagram of image dehazing cloud platform

图像去雾云平台中的 Web Role 和 Worker Role 之间通过 AppFabric 进行通信,用户可通过 AppFabric 跨平台访问图像去雾云平台的网页。

4.2 图像去雾云平台构建

本系统中构建的图像去雾云平台可以实现的功能包括:用户认证、添加/删除图像库、获取图像库中的所有数据、获取单张图像数据、图像去雾和实时视频去雾。构建图像去雾云平台包括创建图像去雾云平台的算法数据库和用户数据库,在 Windows Azure Cloud Service 中创建云服务项目 (cloud service)^[21],申请云存储 (Azure Storage) 账号、Azure AppFabric^[22] 四大部分,其中云服务项目的应用程序使用了 Azure SQL 数据库、Azure Blob 服务和 Azure 队列服务,其体系结构如图 6 所示：

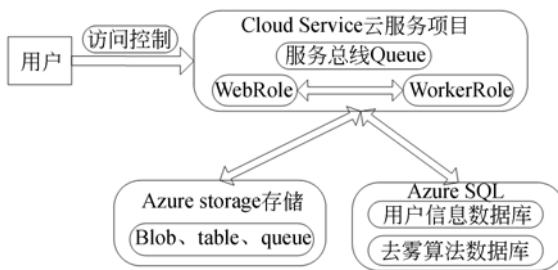


图 6 图像去雾云平台结构图

Fig. 6 Structure diagram of image dehazing cloud platform

当用户从无人机相机上传一张图像时,运行在 Web 角色中的前端将图像存储在 Azure Blob 中,并将图像信息存储在数据库中,同时,在 Azure 队列中写入一条消息。而当定期运行在辅助角色中的后端进程检测到新消息时,将调用图像去雾算法对该图像的进行去雾处理,并在数据库中更新该图像去雾后的图像 URL。各部分之间的消息传递如图 7 所示：

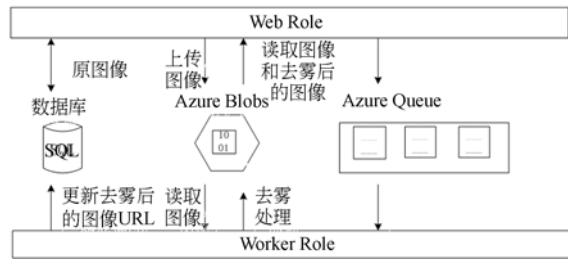


图 7 图像去雾云平台的消息传递图

Fig. 7 Message passing diagram of image dehazing cloud platform

本文系统通过无线图传 LightBridge 将禅思 X3 的数据传回至接入互联网的地面站端显示,并将相关信息(视频数据和位置信息等)传至图像去雾云平台,达到信息共享的效果,使得地面站控制单元和远程访问用户及时地获取到无人机航拍的实际情况。其中地面站通过无线链路接入互联网,将地面站的信息(视频和位置信息等),传至图像去雾云平台存储和处理。

5 实验结果

为了验证本文基于云平台的图像去雾算法的优越性,对一些典型的雾霾图像进行恢复,实验条件为:本地计算机配置: Intel(R) Pentium(R) D CPU 2.8 GHz 2.79 GHz, 1.5 GB 内存, visual studio 2013 ;云平台配置: D1-v2, 2.4~3.2 GHz Intel Xeon®e5-2673 v3 (Haswell), 3.5 G 内存。分别通过本文基于云计算的方法和基于单台计算机的方法对多幅不同尺寸的雾霾图像进行复原,对比两个平台的处理时间,测试结果如表 2 所示。图 8 是使用本文的基于光照分量的图像去雾算法对航拍图像复原的结果图像。

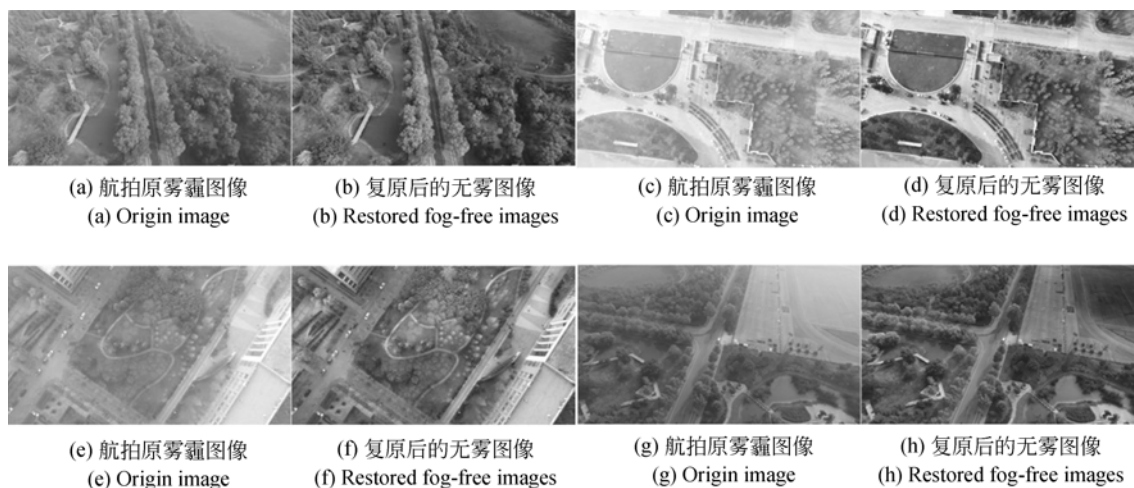


图 8 无人机航拍图像的去雾效果图
Fig. 8 The dehazing results of aerial images

表 2 两种平台上的系统检测结果

Tab. 2 Test results on different platforms

图片尺寸	平均处理时间	
	PC 平台/s	Azure 云平台/s
① 4 000×2 250	0.343 2	0.033 3
② 4 000×2 250	0.358 8	0.035 9
③ 1 024×768	0.049 6	0.005 0
④ 1 024×768	0.048 9	0.004 9
⑤ 768×576	0.046 8	0.004 7
⑥ 2 000×1 312	0.093 6	0.009 2
⑦ 600×525	0.062 4	0.006 4
⑧ 600×400	0.046 8	0.004 7

测试结果验证了基于 Microsoft Azure 云平台上的图像去雾系统的可行性、稳定性和实时性,云计算平台庞大的计算资源可以在保证实验结果精度的同时保证了计算的速度,这对于一些要求实时性的系统来说极其重要。

参考文献:

[1] HUANG Y Q, DING W R, LI H G. Hazere moval for UAV reconnaissance images using layered scattering model[J]. *Journal of Chinese Aeronautics*, 2016, 29(2):502-511.
[2] HE K, SUN J, TANG X. Single image haze removal using dark channel prior[C]. 2009 IEEE

6 结 论

本文的无人机图像去雾云平台采用了基于光照恢复的图像去雾算法,避免了计算全局环境光的值与透射率函数,通过两个步骤即可复原场景的 RGB 反射系数。较 NASA 提出的 MSRCR 图像去雾算法,本算法再现的场景颜色饱和度适中,并且可以避免光晕伪影。通过引入 Windows Azure Platform 云平台,构建基于 Azure 云平台的无人机图像去雾云平台,降低了无人机机载处理器的数据运算负担和功耗,降低了构建无人机图像去雾云平台的软硬件成本,同时也降低了对用户客户端的硬件要求。实验验证了基于 Azure 云平台的图像去雾系统的精确性、稳定性和实时性。下一步将在现有研究结果的基础上增加一些其它的航拍图像处理算法,建立一个基于云计算的综合的高效实时无人机图像处理系统。

Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE, 2009:1956-1963.

[3] HE K, SUN J, TANG X. Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2011, 33(12):2341.
[4] TSACH S, PELED A, PENN D, et al.. Development trends for next generation of UAV systems

- [C]. *AIAA Infotech@Aerospace 2007 Conference and Exhibit*, 2013:203-7.
- [5] GARG V K. *Elements of distributed computing* [M]. John Wiley & Sons, Inc. 2002.
- [6] FOSTER I. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations [C]. *Ieee/acm International Symposium on CLUSTER Computing and the Grid*, 2001. *Proceedings. IEEE*, 2002;1-4.
- [7] SCHODER D, FISCHBACH K. Peer-to-peer prospects[J]. *Communications of the Acm*, 2003, 46(2):27-29.
- [8] LEYMANN F. Cloud Computing: The Next Revolution in IT[J]. 2009. 3-4.
- [9] TAN R T. Visibility in bad weather from a single image[C]. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on. IEEE, 2008;1-8.
- [10] XIAO C, GAN J. Fast image dehazing using guided joint bilateral filter[J]. *The Visual Computer*, 2012, 28(6-8): 713-721.
- [11] SCHWEGLER B. Introduction to open and flexible PaaS with Windows Azure[C]. *International Software Development Conference*, 2013:1320-1410.
- [12] LI H. *Introducing Windows Azure* [M]. David Chappell & Associates White Paper, 2010:256-260.
- [13] SUN W, GUO B L, LI D J, *et al.*. Fast single-image dehazing method for visible-light systems [J]. *Optical Engineering*, 2013, 52(9):093103.
- [14] SUN W. A new single-image fog removal algorithm based on physical model[J]. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124(21):4770-4775.
- [15] SUN W, HAN L, GUO B, *et al.*. A fast color image enhancement algorithm based on Max Intensity Channel. [J]. *Journal of Modern Optics*, 2014, 61(6):466-477.
- [16] 唐晏, 王华军, 王建荣, 等. 云计算下无人机采集无序位置图像快速拼接[J]. *计算机仿真*, 2014(5):407-410.
- TANG Y, WANG H J, WANG J R, *et al.*. Unmanned aerial vehicle acquisition disorderly image fast mosaic simulation under cloud computing [J]. *Computer Simulation*, 2014(5):407-410. (in Chinese)
- [17] GINI R, PASSONI D, PINTO L, *et al.*. Aerial Images from AN Uav System: 3d Modeling and Tree Species Classification in a Park Area[J]. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, XXXIX-B1:361-366.
- [18] GARCÍA-PULIDO J A, PAJARES G, DORMIDO S, *et al.*. Recognition of a landing platform for unmanned aerial vehicles by using computer vision-based techniques[J]. *Expert Systems With Applications*, 2017, 76:152-165.
- [19] SAI F A M S, PRABUWONO A S, MAHAYUDIN Z R. *Real Time Vision Based Object Detection from UAV Aerial Images: A Conceptual Framework* [M]. *Intelligent Robotics Systems: Inspiring the NEXT*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [20] VIRK I S. Cloud Computing: Windows Azure platform [J]. *Journal of Global Research in Computer Science*, 2012, 3(1):74-76.
- [21] ROLOFF E, BIRCK F, DIENER M, *et al.*. Evaluating High Performance Computing on the Windows Azure Platform[C]. *IEEE Fifth International Conference on Cloud Computing. IEEE Computer Society*, 2012:803-810.
- [22] DOBREA D M, MAXIM D, CEPARU S. A face recognition system based on a Kinect sensor and Windows Azure cloud technology [C]. *International Symposium on Signals, Circuits and Systems*, 2013:1-4.

作者简介:



孙伟(1980—),男,安徽砀山人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为高性能视觉信息计算及嵌入式系统设计。E-mail: wsun@xidian.edu.cn



潘蓉(1992—),女,山西运城人,硕士,主要研究方向为数字图像处理。E-mail:1621980248@qq.com