

文章编号: 2095-4980(2013)02-0254-06

一种基于分割的图像去雾新算法

桓宗圣, 陶青川, 田 旺

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 在雾天环境下, 大气介质中悬浮颗粒的散射作用导致图像质量严重下降, 限制了其使用范围, 因此对雾天图像进行去雾处理是必要的。根据暗原色先验去雾的原理, 在局部区域内基于图像分割的思想来较准确快速估计雾天图像的传播图, 然后应用大气散射模型对雾天图像进行去雾处理, 并通过直方图拉伸来增大处理后的图像的对比度。实验结果表明, 该算法能有效去除雾气对图像的影响, 与传统去雾算法相比较, 具有较快的处理速度和较强的实用性。

关键词: 图像去雾; 图像分割; 大气散射模型; 暗原色先验; 直方图均衡

中图分类号: TN911.73; TP391.41

文献标识码: A

A new segmentation based image defogging algorithm

HUAN Zong-sheng, TAO Qing-chuan, TIAN Wang

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: It is very necessary to defog the images captured in the foggy days, because the scattering effect of atmospheric suspending particles will lead to serious image degradation, which directly influences the visual effect and its application range. Based on the principle of dark channel priority, a segmentation model is introduced to estimate a image transmission map precisely and fast in local area, and then the atmosphere scattering model is applied to defog the images, and the image contrast after defogging is enhanced by histogram stretching. Experiment results show that the proposed algorithm efficiently removes the influence of the fog to the image with high processing speed and wide application range.

Key words: image defogging; image segmentation; atmosphere scattering model; dark channel priority; histogram equalization

在野外环境下, 大气粒子的散射作用往往导致图像质量的严重退化, 直接影响了图像的视觉效果, 严重影响它的应用范围, 因此在很多应用场合需要对其进行去雾处理。目前, 国内外研究人员对雾天图像去雾处理主要采用 McCartney 于 1975 年提出的大气散射模型^[1]进行, Tan 等人统计了大量图像, 发现雾天图像较无雾图像在图像细节上不够突出, 通过最大化增强图像的局部对比度的方法来去雾, 但是该方法常因增强过度而使图像整体视觉效果不自然^[2]; He 等人对大量实际场景进行实验, 总结得出暗原色先验原理^[3], 利用局部区域的暗原色信息来估计得到粗略的传播信息图, 再采用软抠图的方法优化传播图, 最后应用大气散射模型对图像去雾, 该算法的去雾效果比较好, 但是在软抠图阶段太过于耗时。

基于大气散射模型图像去雾的核心是如何得到图像的准确传播图, 但是目前的算法普遍准确性不高, 且处理速度不快, 无法应用于对实时性要求较高的领域。本文提出一种基于局部区域分割的图像去雾新方法, 基于暗原色先验去雾的原理, 在局部范围应用图像分割^[4]的方法, 并结合雾天大气模型对图像进行去雾处理, 对比试验结果表明本文算法具有较快的处理速度和较好的复原效果。

1 基于局部区域分割的图像去雾算法

He 等人的暗原色先验去雾算法由于在优化传播图阶段采用软抠图技术, 虽然复原的效果很好, 但是处理速

度太慢,实用性较差,无法应用在一些对实时性要求较高的领域中,如实时视频监控^[5]、实时视频通信^[6]等。本文提出一种基于局部区域分割的图像去雾新方法,通过直方图均衡化预处理后,应用局部区域分割的方法快速估算传播图信息,然后对复原图像进行直方图拉伸处理,取得较好去雾效果。本文算法流程如图1所示。

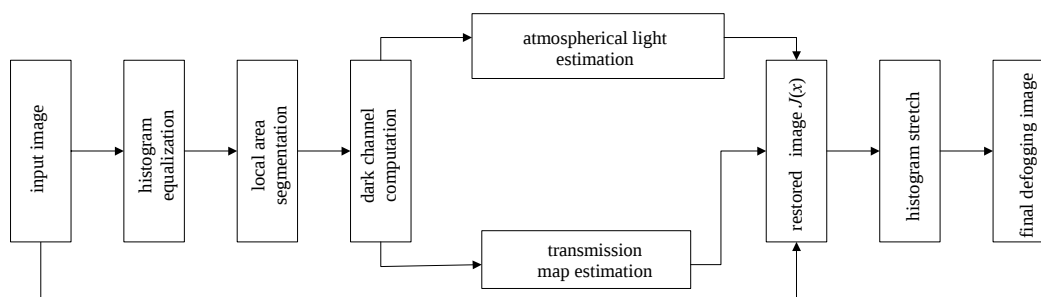


Fig.1 Flow chart of algorithm

图1 算法流程图

1.1 雾天大气散射模型

在计算视觉和图形学中,式(1)所描述的大气散射模型被广泛应用^[7]:

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

式中: $I(x)$ 为输入的含雾图像的反射信息; $J(x)$ 为景物目标的反射信息; A 是外界大气光成分; $t(x)$ 为传输衰减函数表示目标反射信息的透过率,可以理解为图像的传播图信息,表示光从场景点传播到观测点过程中的衰减现象。

从数学角度看,基于大气散射模型图像去雾是从输入的含雾图像 $I(x)$ 中计算出景物目标的反射信息 $J(x)$ 。根据式(1),算法首先需要得到外界大气光 A 和传播图信息 $t(x)$ 。

1.2 暗原色先验原理

He 等人通过对户外大量无雾图像观察实验得出:在绝大多数非天空的局部区域内,其中有一些像素总会有至少一个颜色通道具有很低的值^[3]。对于1幅图像 $J(x)$,定义该图像的暗原色,用公式表示为:

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

式中 c 表示 $J(x)$ 第 c 个颜色通道(本文在 RGB 颜色空间处理),其中 $\Omega(x)$ 是以 x 像素点为中心的局部邻域(本文选择 15×15 的局部矩形区域)。通过实际的图像测试,He 等人得出,除了天空方位和一些白色部分的区域, $J^{\text{dark}}(x)$ 的值总是较低且趋向于0,即 $J^{\text{dark}}(x) \rightarrow 0$ 。

暗原色先验原理去雾,基于如下2个假设:假设在局部小范围内图像的传播图信息 $t(x)$ 以及图像的暗原色信息都在该区域内是一致的;假设大气光 A 是常数,根据式(1)的大气散射模型,对该式两边同时除以大气光值 A ,并同时求暗原色可得:

$$\min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) = t(x) \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) + 1 - t(x) \quad (3)$$

由于 $J^{\text{dark}}(x) \rightarrow 0$,由式(3),可以得出:

$$t(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (4)$$

式中 $t(x)$ 是雾天图像的传播图信息,通过该方法求解传播图信息比较成熟且方便,本文选择该方法求解传播图信息。

在实际场景中,即使是完全无雾的天气,大气中总会包含一些杂质分子,所以当看远处的物体时,雾气其实依然存在,且雾的存在是人眼感知图像层次的一个基本线索,因此如果彻底地去除存在的雾气,会使图像看起来很不真实^[8],为了使图像看起来更真实自然,引入参数 ω ($0 < \omega \leq 1$),式(4)可更新为:

$$t(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (5)$$

式中 ω 是经验数据,本文在大量实际场景中实验得出, ω 选择 $0.93 \sim 0.97$ 的时候效果较好。

1.3 基于局部区域分割的暗原色先验

He 等人算法去雾处理时, 是基于局部区域图像的传播图信息和暗原色信息都在该范围内是一致的假设, 然而这一假设是不完全合理的。下面主要解释 He 等人算法的不合理之处和本文的改进之处。如图 2 所示, 在图 2(a) 中, He 等人的算法为了有效估算传播信息图, 选择在以 P 点为中心的局部邻域内计算暗原色信息, 但这样得到的结果不完全准确。因为如图 2(b) 所示, 在以 P 点为中心的局部邻域内有 object 和 background 2 种目标区域, 显然它们的暗原色信息和传播图信息不一样, He 等人算法在计算时认为这 2 个区域目标的暗原色和传播图信息相同, 这样导致计算的结果不完全合理。

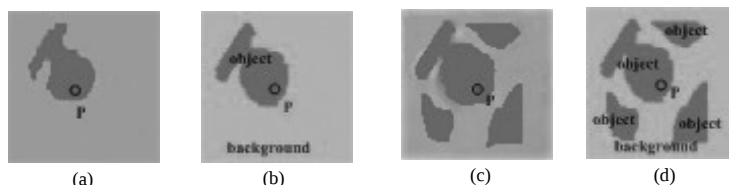


Fig.2 Local area segmentation diagram

图 2 局部区域分割示意图

实际场景中为了更精确地估算图像的传播图信息, 本文采用局部区域分割的方法, 该方法基于这个假设: 如果 2 个像素的色彩容差在一定的范围内(本文色彩容差选择 10), 则判为相似像素, 并将它们当作相同的目标进行处理, 这个假设较 He 等人算法在计算暗原色信息和传播图信息时的假设要合理。如图 2 所示, 图 2(c) 为了计算当前像素点 P 的传播图信息, 选择以其为中心的局部邻域, 并在该邻域根据上述假设, 应用图像分割的思想, 根据色彩相似性原理, 与 P 点色彩相似的称为目标, 不相似的称为背景, 将该区域分割成目标(图 2(d) 中 object 所示)和背景(图 2(d) 中 background 所示)2 种目标区域, 根据暗原色计算式(2)在 object 区域计算当前像素点 P 的暗原色信息, 这样计算得到的传播图信息较 He 等人的算法合理且准确, 从而获得更加精确的复原效果。如图 3、图 4(在图 3 中, (a)(d)(g) 表示源图像; (b)(e)(h) 表示 He 等人算法得到的暗原色信息图; (c)(f)(i) 表示本文算法得到的暗原色信息图; 在图 4 中, (a)(e) 表示源图像; (b)(f) 表示 He 等人算法得到的粗略传播信息图; (c)(g) 表示 He 等人算法得到的优化后的传播信息图; (d)(h) 表示本文算法得到的传播信息图)分别是在不同场景下得到的暗原色信息图和传播信息图比较。

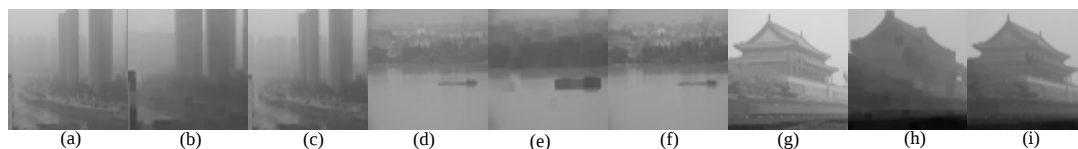


Fig.3 Dark channel

图 3 暗原色信息图

从图 3 可以看出, He 等人的算法得到的暗原色信息比较粗糙且具有块效应, 本文得到的暗原色信息较 He 等人的算法准确, 且明显块效应减弱。进一步计算得到传播信息图, 由图 4 可以看出, He 等人的算法在得到的初始传播图块效应较严重且效果不好, 经过软抠图处理后, 效果改善, 但是该阶段耗时太多, 本文算法得到的传播信息图效果与 He 等人的算法优化处理后的效果差不多, 但是本文算法的处理时间要节省很多。

1.4 大气光的估计

本文根据 He 等人采取的经典方法估算大气光值, 首先给暗原色信息图中的像素按亮度值从大到小排序, 选取排序后亮度值的前 0.1% 的像素点, 在这些像素对应于原图像的像素点中, 亮度最大值作为大气光 A 的值, 该方法处理速度快且效果较好。

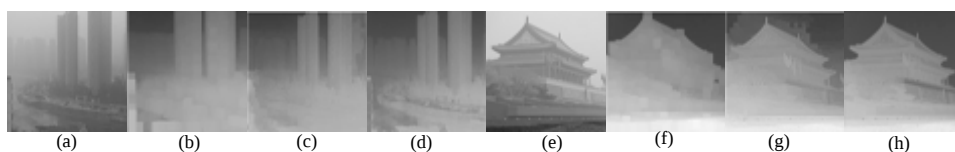


Fig.4 Transmission map

图 4 传播信息图

1.5 图像去雾

利用获取的传播图信息 $t(x)$ 和大气光 A 根据式(1)可求得去雾后的图像 $J(x)$:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (6)$$

式中 $I(x)$ 是有雾的图像, 在一些特殊场景下 $t(x)$ 可能趋于 0, 这种情况下根据式(6)复原图像变得无意义, 所以引入 t_0 参数来调控大气光 A 对整体复原效果的贡献率, t_0 ($0 < t_0 \leq 1$) 的典型值一般选择 0.1 (因为实际的场景不可能每处都像大气光那么明亮), t_0 选择的越大, 则整体去雾的像素较少; t_0 选择的越小, 则整体去雾的像素越多, 但是 t_0 的选择过小容易引起去雾过度, 产生色彩失真。

1.6 直方图拉伸

直方图拉伸是图像处理中最常见的间接对比度增强方法的一种, 它主要是通过对比度拉伸对直方图进行调整, 从而增大前景和背景灰度的差别, 简单的说就是将灰度间隔小的图像的灰度间隔扩大, 以达到增强对比度的目的。

由于复原后的图像 $J(x)$ 常常对比度比较低, 直方图特征表现为分布集中, 使得图像部分细节信息不突出, 因此对其进行直方图拉伸处理, 从而增大复原后图像的整体对比度, 使得复原效果更自然真实。具体拉伸方法:

$$Out^c(x) = ((In^c(x) - In_{min}^c) / (In_{max}^c - In_{min}^c)) K_{max} \quad (7)$$

式中: c 表示第 c 个颜色通道 (这里选择在 RGB 颜色空间处理); x 表示当前像素点; $Out(x)$ 是拉伸后输出图像灰度值; $In(x)$ 是输入图像的灰度值; In_{max} 是输入图像灰度最大值; In_{min} 是输入图像灰度最小值; K_{max} 表示输出图像灰度最大值, 为了尽可能增大输出图像对比度, K_{max} 选择 255。由于复原后的图像直方图普遍集中在中间部分, 本文选择截取一定比例的像素来进行直方图拉伸。本文通过大量实际场景测试, 选择在图像各通道灰度上下限截取像素总数的 5%~10% 来重新计算 In_{min} 和 In_{max} , 这样拉伸效果更佳。对复原后的图像进行线性直方图拉伸前后灰度直方图对比如图 5 所示 (其中, (a)(f) 表示源图像; (b)(g) 表示直方图拉伸前复原效果图; (c)(h) 表示直方图拉伸后复原效果图; (d)(i) 分别表示对应于 (b)(g) 的直方图; (e)(j) 分别表示对应于 (c)(h) 的直方图)。

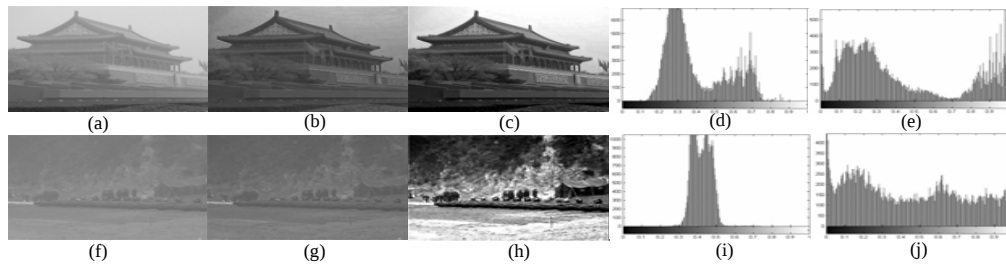


Fig.5 Comparison of histogram before and after stretching

图5 直方图拉伸前后比较

通过图 5, 对比拉伸前后直方图变化。明显看出, 在对去雾后图像进行直方图拉伸前, 复原的效果图对应的直方图都比较集中, 反映在场景中主要是细节不突出, 整体对比度比较低, 复原效果一般; 但是通过直方图拉伸处理以后, 图像的细节明显变得清晰起来, 且整体视觉效果更自然。

2 实验结果及分析

为了验证算法的实用性与有效性, 采用 VS2008 开发平台, Pentium(R) Dual-Core CPU, E5300@2.6 GHz (2 CPUs) 处理器, 3 Gbit 内存, Microsoft Windows XP 操作系统的台式机, 将本文算法与国内外最新提出的算法和一些传统经典算法在各种场景 (包括山地、野外、河道等) 中进行对比实验。以下是几种算法实验结果比较。

图 6(a)(f)(k)(p) 表示源图像; (b)(g)(l)(q) 表示文献[9]复原效果图; (c)(h)(m)(r) 表示文献[10]复原效果图; (d)(i)(n)(s) 表示 He 等人算法复原效果图; (e)(j)(o)(t) 表示本文算法复原效果图是几种算法实验结果比较示意图。

图 6 中可以明显看出, 在实际环境中, 本文算法与 He 等人算法效果差不多, 整体视觉效果较好; 文献[9]基于双边滤波的单幅图像去雾算法^[9], 整体效果不错, 但是图像整体看起来比较尖锐, 不是很自然; 由于本文是基于局部区域分割图像去雾, 选择文献[10]保持图像亮度的局部直方图均衡算法^[10]来对比, 该方法是去雾处理比较经典的算法, 但是在实际场景中去雾处理后图像有少许色彩失真, 所以本文算法较传统算法有较大优势。

算法处理时间是衡量算法复杂度的一个重要指标。表 1 是图 6 中不同场景下有雾图像使用几种算法处理所用时间比较。

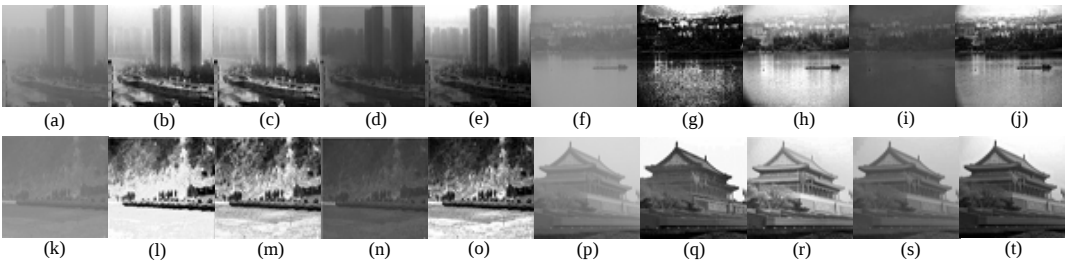


Fig.6 Restored image
图 6 复原效果图

表1 算法所用时间比较

Table1 Comparison of run time

image (240×180)	run time of the algorithm/ms			
	algorithm in[9]	algorithm in[10]	algorithm by He	the proposed algorithm
(a)	1 175	447	10 394	381
(f)	978	547	10 324	363
(k)	1 235	473	12 339	289
(p)	1 025	625	11 316	307

由表 1 可以看出，本文算法运行速度较文献[10]算法稍快，是文献[9]算法运行时间的 1/3 左右，较 He 等人算法运行速度大幅提高。

在完成图像去雾处理后，对其效果进行定量评价，本文参考文献[11–13]采用方差 σ 、灰度熵 $H(I)$ 、边缘能量 $E_{\text{edge}}(d)$ 等经典指标来对去雾效果进行定量评价。

表 2 去雾效果定量评价

Table2 Quantificational evaluation of defogging effect

evaluation standard	image(a)					image(f)				
	original image	algorithm in[9]	algorithm in[10]	algorithm by He	the proposed algorithm	original image	algorithm in[9]	algorithm in[10]	algorithm by He	the proposed algorithm
variance	31.950 0	66.717 0	68.244 0	34.194 0	73.557 0	17.861 0	72.297 0	66.091 0	11.326 0	69.451 0
gray level entropy	4.776 0	5.325 0	5.498 0	4.685 0	5.282 0	3.945 0	4.931 0	5.408 0	3.808 0	5.336 0
edge energy	92.697 0	422.708 0	359.255 0	351.986 0	262.635 0	72.148 0	560.417 0	232.297 0	75.902 0	378.161 0

从表 2 中可以看出，经过本文算法去雾处理后，各图像清晰度指标均有较大提高，反映在图像上则是整体去雾效果较好。

综上所述，本文算法在处理时间上大大减少，且能保持较好去雾效果，能够应用在一些对实时性要求较高的场合中。

3 结论

本文提出一种基于局部区域分割的图像去雾新算法，根据大气散射模型，利用暗原色先验去雾的原理，在局部范围内，通过图像分割的方法来估算并获得比较准确的传播图，最后通过应用大气散射模型的逆过程进行图像去雾，为增大复原后图像的对比度，继续对其进行直方图拉伸处理，本文算法已经在多种环境下测试，取得较好去雾效果。由于本文算法设计简单，处理速度较快，因此能广泛应用于小区安全监控、水利视频监控、边防烟火检测、交通违章监控等相关行业领域。

参考文献：

[1] McCartney E J. Optics of atmosphere:scattering by molecules and particles[M]. New York:John Wiley and Sons, 1976.

[2] Tan R. Visibility in bad weather from a single image[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, USA:IEEE, 2008:2347–2354.

[3] He Kaiming, Sun Jian, Tang Xiaoou. Single image haze removal using dark channel prior[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR). New York:IEEE Computer Society, 2009:1956–1963.

[4] Felzenszwalb P, Huttenlocher D. Efficient Graph-Based Image Segmentation[J]. Kluwer Academic Publishers Hingham, 2004, 59(2), 167–181.

[5] 李蓉. 基于无线局域网监控系统的技术优化方案[J]. 信息与电子工程, 2008, 6(3):237–240. (LI Rong. Optimized Project of Surveillance System Based on Wireless Local Area Network[J]. Information and Electronic Engineering, 2008, 6(3):237–240.)

- [6] 何小海,吴媛媛,陈为龙,等. 视频超分辨率重建技术综述[J]. 信息与电子工程, 2011,9(1):1-6. (HE Xiaohai,WU Yuanyuan, CHEN Weilong,et al. A survey of video super-resolution reconstruction technology[J]. Information and Electronic Engineering, 2011, 9(1):1-6.)
- [7] Narasimhan S G,Nayar S K. Vision and the atmosphere[J]. International Journal of Computer Vision, 2002,48(3):233-254.
- [8] Preetham A J,Shirley P,Smits B. A practical analytic model for daylight[C]// ACM SIGGRAPH'99 Proceedings Los Angeles: [s.n.], 1999:91-100.
- [9] Tripathi A K. Single image fog removal using bilateral filter[C]// IEEE International Conference on Signal Processing,Computing and Control(ISPCC). Kharagpur,India:[s.n.], 2012:1-6.
- [10] 江巨浪,张佑生,薛峰,等. 保持图像亮度的局部直方图均衡算法[J]. 电子学报, 2006,34(5):861-865.
- [11] 陶剑锋,殷志祥,廖光洪. 基于模糊中值滤波的图像处理方法[J]. 信息与电子工程, 2007,5(5):391-394. (TAO Jianfeng, YIN Zhixiang,LIAO Guanghong. Research of fuzzy medium filtering about image processing[J]. Information and Electronic Engineering, 2007,5(5):391-394.)
- [12] 张永亮,汪洋,卢焕章. 基于图像灰度熵的团块目标检测方法[J]. 系统工程与电子技术, 2008,30(2):201-203.
- [13] 周贤,姜威. 基于图像边缘能量的自动聚焦算法[J]. 光学技术, 2006,32(2):213-215.

作者简介:



桓宗圣(1987-),男,安徽省滁州市人,在读硕士研究生,主要研究方向为计算机应用与图像识别.email:huanzongsheng@126.com.

陶青川(1972-),男,成都市人,副教授,主要研究方向为图像处理、机器视觉、模式识别等.

田 旺(1986-),男,四川省万源市人,在读硕士研究生,研究方向为计算机应用与图像识别.

(上接第 253 页)

作者简介:



孙召平(1977-),男,山东省莱州市人,工程师,硕士,主要研究方向为气象雷达信号处理.email:zhaoping.sun@metstar.net.

张持岸(1975-),男,安徽省灵璧县人,硕士,主要研究方向为雷达气象算法.

张建云(1962-),男,云南省离石市人,正研级高工,硕士,主要研究方向为雷达系统设计.