

学校编码: 10384
学 号: X2008222016

分类号__密级__
UDC__

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

基于尺度空间变换的图像去雾算法研究

**Research On Fog Image Restoration Algorithm Based On
Scale Space Transform**

吴瑞芳

指导教师姓名: 丁兴号 教授
专 业 名 称: 电子与通信工程
论文提交日期: 2015 年 12 月
论文答辩时间: 2015 年 12 月
学位授予日期: 2015 年 12 月

答辩委员会主席: _____
评 阅 人: _____

2015 年 12 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要：

近年来，随着雾霾天气不断增多，受到雾霾天气的影响，户外系统所采集到的图像质量严重下降，导致成像图像不清晰，对比度降低，颜色失真，图像丢失大量细节信息，这样的降质图像给后续的处理带来不便，因此，研究降质图像的复原算法，提高图像质量，具有重要的现实意义。

本文提出一种尺度空间理论，假设图像具有多种尺度表达方式，只要找到合适的模式识别方式，就可以提取出图像的细节跟平滑轮廓信息。本文算法采用光学成像原理来建立数学模型。通过对模型变量进行分析，发现模型中的传输图像函数 t ，大气光 A 值的精确估计对图像的复原效果产生较大的影响，因此为了精细化传输图估计，本文基于暗通道理论，采用不同的块操作提取图像的不同暗通道尺度空间，并配以不同的权重值得到加权平均的暗通道图像，由该暗通道图像去估算传输图，从而得到更精确的传输图。为了在去雾的过程中保留图像的边缘信息，去雾的同时采用高斯梯度算子提取暗通道图像的边缘尺度空间充当权重对复原图进行边缘修正。实验结果表明，该算法对于景深没有剧烈变化的有雾图像，具有良好的去雾效果。

大气光值 A 的估计同样影响着复原图的效果，为了更精确地估算 A 的值，本文采用多尺度分割暗通道图像的方法来估算 A 值，实验效果证明，该方法可以很好地提取具有大片白光区域的有雾图像的大气光值 A ，实现更好的去雾效果。

本文的研究工作为雾天图像增强的进一步研究提供了一个新的研究思路。

关键词：图像去雾；尺度变换；暗通道

Abstract

In recent years, the fog and haze weather has been increasing happened. This phenomenon seriously affects the quality of images that collected by the outdoor system. It causes the image appears unclear, leads low contrast and color distortion .It makes the image losing rich details. Such a degraded image is not convenient for post-processing. Therefore, it has important practical significance to study the image restoration algorithm and improve the image quality.

In this paper, a scale space theory is proposed, which can extract the details of the image and smooth contour information. In this paper, a mathematical model is established by using the principle of optical imaging. Through the analysis of the - variables in the model, we find that the model of the image transmission function t , the precision of the atmospheric optical A value has a great impact on the image restored result. Therefore, in order to estimate the transmission image, this paper based on the dark channel prior, uses different scales to extract different dark channel images, Then these dark channel images are fused into one refined dark channel image by using a simple weighting operation. In order to preserve and enhance the edge information of the image in the process of the fog, the edge scale space of the dark channel image is extracted by using the Gauss gradient operator, and the edge of the image is enhanced. Experimental results show that, this algorithm has good defogging effect on those fog images that have no changes in the depth.

The estimation of atmospheric optical A also affects the effect of the restoration. In order to estimate the A value more accurate, this paper uses the method that segments the input dark channel image in a multi-resolution way to estimate the A value. The experimental results show that the method can extract a more accurate air light A and achieve better results.

The work of this paper provides a new researching method for the further research of fog image enhancement.

Keywords: Haze Removal; Scale Space Transform; Dark channel

目录

第一章 绪论	2
1.1 研究背景和意义	2
1.2 国内外的研究现状	3
1.3 本论文的工作	6
第二章 本文算法的数学模型分析	7
2.1 去雾图像模型的建立	7
2.2 本文模型的求解分析讨论	10
2.1.1 不考虑噪声影响观察 t 值变化对复原图 J 的影响	10
2.1.2 考虑噪声影响观察 t 值变化对复原图 J 的影响	11
2.1.3 考虑噪声影响观察 A 值变化对复原图 J 的影响	12
2.3 暗通道先验理论的简介	13
2.4 本章小结	19
第三章 基于尺度变换的传输图 t 估算的去雾算法	20
3.1 尺度空间概述	20
3.2 本文算法	23
3.2.1 块操作提取图像的不同暗通道尺度空间	24
3.2.2 高斯梯度算子提取暗通道图像的边缘尺度空间	26
3.2.3 算法的流程图	33
3.3 实验结果分析	33
3.4 本章小结	36
第四章 基于尺度变换的 A 值估算去雾算法实现	37
4.1 多尺度分割暗通道图像估算 A 值	37
4.2 估算 A 值的算法流程图	37
4.3 复原算法流程图	38
4.4 实验结果分析	39
4.5 本章小结	40
第五章 总结和展望	41
参考文献	42
致谢	44

Contents

Chapter 1 Introduction	2
1.1 The background and significance of the research.....	2
1.2 The domestic and foreign research situation.....	3
1.3 The content arrangements of this paper.....	6
Chapter 2 Analysis of the mathematical model algorithm ..	7
2.1 The model of fog image.....	7
2.2 The analysis of the model.....	10
2.1.1 The influence of t value on the recovery without noise	10
2.1.2 The influence of t value on the recovery with noise...	11
2.1.3 The influence of A value on the recovery with noise...	12
2.3 The dark channel theory introduction.....	13
2.4 Summary of this chapter.....	19
Chapter 3 Defogging algorithm estimating transmission t	20
3.1 The scale space.....	20
3.2 The algorithm.....	23
3.2.1 Block operation to extract image in different scale space of	
dark channel.....	24
3.2.2 Edge scale space of the dark channel image extracted by the	
Gauss gradient operator.....	26
3.2.3 Flow chart of the algorithm.....	33
3.3 The experimental results.....	33
3.4 Summary of this chapter.....	36
Chapter 4 Defogging algorithm estimating A	37
4.1 Multi scale segmentation of dark channel image estimation of A	
.....	37
4.2 Algorithm flow chart for estimating A values.....	37
4.3 Flow chart of the algorithm.....	38
4.4 The experimental results.....	39
4.5 Summary of this chapter.....	40
Chapter 5 Conclusion and expectation	41
References	42
Acknowledgements	44

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

关于本课题的提出，本文主要是基于以下三个方面来考虑的：

第一、21 世纪初，随着智能通信产品的急速发展（如智能手机，平板电脑），以及互联网的普及（随处可用的 wifi，脸书，推特，微信，微博），人类社会中无时无刻不在接触着图像信息，随着人们接触的信息量的增多，人们对所获取的图像质量要求也越来越高，作为承载着重要信息的图像，其在信息传递中的地位也越来越高。因此，研究如何提高传输图像的质量具有实际的应用意义。当采集到的图像存在退化现象时，并不利于人眼观察，因此提高降质图像的质量一直是图像处理领域的热点。

第二、现今社会为了健全法律制度，各行各业都带有摄像头，布满了有如天网般的监控系统，如各高速路段的交通电子眼检测超速车辆拍摄超速车辆车牌；在户外停车场安装监控摄像头，防止车辆擦刮伤或被盗；各住宅小区大门入口处安装摄像头，对来往人员进行监控；银行的 ATM 机安装摄像头以协助警方办案识别犯罪分子等等，这些重要的场合其电子摄像头的正常运作密切关系着相关人员与财产的安全。近年来，因为工业社会的快速发展，雾霾天气频发，特别是人口密集的发达地区，更是常年雾霾，这样的天气状况对于户外视频监控造成很大的影响。因为雾天频现，在户外采集到的图像总是受到影响，造成不同程度的退化和失真，因此研究如何从这些降质图像中还原出相关的细节信息，对于监控工作是一项很重要的需求，具有重要的现实意义。

第三、如果能在雾天图像的增强算法上有所创新，也有助于其他领域研究的更进一步发展。近年来由于信息技术的迅猛发展，一些 3D 地图，全方面 360 度拍摄合成图像，人脸识别密码设置等图像处理领域获得高速发展，图像的处理原理基本都是数学方式，如果能在雾天图像上有新的算法突破，对于其它领域的发展也可以起到一定的促进作用。每一种科技的发展，都伴随着同一行业各个不同方面的同步进展，因此在去雾领域的研究对于整体的图像处理进展依然有着重要的推动作用。

因此，本课题的研究具有现实可行的意义，本文研究的目的主要是考虑在雾

天情况下，户外采集到的图像受到影响退化，如果是要用于识别，这样的原始图像是难于满足需求的，本文对雾天图像还原的探索主要集中在前期的去雾处理上，试图通过大量数据分析，寻找一种通用的、合适的、有效的、快速的去雾方法，来实现雾对图像的干扰，使之有助于进一步的后续识别操作。

1.2 国内外的研究现状

在图像去雾领域，国内外有很多相关的研究，特别是近年来雾霾天气的大量出现，关于雾天图像复原算法的研究成为了图像处理领域中的一个研究热点。目前很多去雾算法都是基于何^[1]的暗通道理论的改进算法，因为何的暗通道理论是建立在大量的图片统计基础上得来的，他给雾天图像的处理指明了一个很好的先验条件，这个先验条件有助于处理部分的雾天图像，但是关于详细的算法，还有很多的改进空间^[2]。本文在后续的章节对于算法会有简单的介绍。

图像去雾领域涉及到很多方向，比如，现在各大电视台为了抢占电视市场都推出了很多真人秀电视节目，而此类节目最常用到的就是无人机航拍器^[3]。无人机轻便，简单，不受拍摄场地限制，可以灵活地到达各个高空角落进行拍摄。比如，拍摄一些类似大峡谷的风景，因为危险性比较高，可以借助无人机拍摄，或是一些高空作业，摄像机不好随机移动的场合，利用无人机的便利性，可以很好的解决拍摄问题。因此，现在的无人机航拍正在以飞快的速度发展着。但是，当拍摄时碰到雾天情况，无人机的拍摄同样要受到影响，特别是对于现场直播的电视节目，如果碰起雾天势必会影响拍摄效果。因此对于无人机所拍摄到的图像进行去雾处理也是目前研究的一个方向，孔^[4]在其论文中介绍一种改进的暗原色去雾方法，该文同样是基于何^[1]的暗通道原理的基础上进行改进，该文主要解决的问题集中于来自航拍机采集到的有雾图像。

再比如，在户外的监控摄像头拍摄到嫌疑人物，因为雾的存在会将这种特征弱化，我们希望可以尽可能多地得到人物的特征，必须对此类图像先进行前期的去雾处理；或者在高速公路上行驶，有些车辆因为急速行车造成意外，特别是现在很多车主都会自行安装行车记录仪，虽然行车记录仪可以拍摄下现场情况，但是因为雾的影响，有些关键细节却会因此受到影响，这样的需求促进了安防行业的透雾摄像机^[5]的大力发展。大部分具有透雾功能的摄像机主要是从两个方面来实现去雾，一个是从硬件上入手，通过提高镜头的性能和处理器的速度来达到快

速去雾，很多品牌厂商研发能力强，会采用高质量的镜头来注入其相关产品中，提高产品的去雾性能。但是市面上更多的去雾摄像产品却是基于软件去雾的。一方面原因在于透雾镜头的高成本考虑，另一方面可能也受到研发能力的限制，因此目前市面上推广的大部分透雾产品，都是采用在机子上内嵌相应的去雾软件处理算法^{[6][7]}来实现去雾处理。因此对于图像的去雾研究，有部分研究是集中在硬件处理器上的，但是更大一部分的研究还是集中在软件算法上。本文的研究因为受到经费跟硬件条件的限制，也是主要集中在提高算法性能上。

对于软件研究来说，不管是基于哪一种现实应用的需求，大部分的雾天图像复原算法都可以从大方向上来将其分为两大类：一类是归入图像增强，另一类就是图像复原。两者的区别主要集中在是否有考虑造成图像降质的现实成因。图像增强并不考虑造成图像降质的原因，只从图像本身入手，针对图像的对比度降低，图像颜色失真，图像畸变，图像模糊等方面进行处理，相对复原来讲，它的处理主要是想办法增加图像的对比度，使图像变得更清晰，通过改善图片的颜色，让图像看起来更顺眼，它并不考虑现实需求，这种处理算是一种增强手段，但是对于探测方面的图像这样的处理并不适宜，比如我们想知道被探测物的成份跟组成时，会用某些特殊的传感器去采集图像，此时对得到的图像进行处理时，并不是简单地增加对比度那么简单，我们的目的是要从图像中明确指出各种成份的组成，那么在复原时就要充分考虑到图像所对应的现实部份，有时图像视觉效果看起来并不是很顺眼，对于这一类图像就不能采用简单的处理方法来增强对比度，而要考虑造成图像降质的现实物理原因，在处理时，尝试从中找出影响图像降质的因素，建立对应的数学模型，这种处理方法，很大的程度上需要大量的观测跟统计结果才能得到很好的数学模型，也就是所谓的先验法则。因此本文算法也是通过对模型进行适当合理的假设，借助各种统计手法尽可能地减少模型的参数影响，以求得最佳的逼近解。

（一）基于图像增强方法的图像去雾处理并不考虑雾天天气的物理原因，而是单纯从得到的图像入手，根据实际应用需求尽可能地突出图像中的有用信息，增强感兴趣的领域。比如，在交通领域里需要识别雾天影响下的车牌，那么在处理时，就要尽可能地突出具有车牌特征的区域，同时削弱或去除图像的雾化影响，以达到图像增强的效果。如果从数学的角度来理解图像的增强处理，可以将之理解为一种数学变换处理，即将所关注的特征通过某种数学方式提取出来，以便于

人眼或机器识别。这种处理方法的难点在于如何找到合适的变换域。寻找变换域的过程实际上体现的是一种图像的分析能力，只有充分地理解图像中所蕴含的图像信息，才能准确地找到合适的变换域，得到理想中的增强图像。

最简单的变换当属空间域增强算法。这种算法是基于图像像素的增强算法，通过改变图像上像素点的灰度值得到新图像，最经典跟古老的空域增强算法当属直方图增强法，虽然直方图算法已经很成熟了，但不可否认的，它在增强图像对比度时，仍然具有强大的优势，毕竟这是建立在统计学上的算法，还是具有强大的应用空间的，如果可以灵活变通使用图像的直方图，依然可以得到很好的去雾效果，张^[8]在其文中采用了限制对比度的直方图均衡化操作来实现去雾，传统的直方图均衡法是对整幅图进行直方图均衡化操作，而张是采用对图像进行像素区域操作，以某个像素为中心点取周围合适的区域大小像素，对此小区域的像素分布进行直方图均衡化的操作，这样的算法可以防止对整幅图像的过度均衡化操作，以达到更好的精确度处理。

而另一种处理方式可以称为滤波器方式，也就是针对图像的某种特征，采取不同的滤波器，设置不同的变换系数，将图像变换到某个特定域去处理，最常用的方法就是频率域变换，这种变换方法是源于傅里叶变换的思想，将传统的空域处理通过合适的正交基变换到频率域中进行操作，这样的变换是基于高频波体现图像细节，低频波体现图像轮廓的光学原理的基础上来实现的。运用变换域对图像进行处理的难点主要集中在如何正确地寻求变换基，常用的是基于颜色恒常性假设的 Retinex 模型算法，在此基础上发展了很多相应的去雾算法，如图像去雾的小波域 Retinex 算法^[9]。

(二)图像复原是基于物理事实去雾算法，这种方法主要从图像退化的角度来考察图像退化的原因，必需结合物理现象建立模型，常用的模型分析方法主要集中于分析大气的散射作用，通过光学传播原理来建立物理模型^[10]，从而重建和复原图像，此类算法都是基于大气退化模型来建模^[11]，并采用不同的数学方法寻求该模型的最优解。

现在的大部分去雾算法，更多的是采用基于物理分析的数学模型，接着求解模型方程。在求解模型方程的过程，因为涉及的变量比较多，因此为了得到最佳解总是会用一些合设的假设条件来约束方程，以便得到更好的方程解。近年来，上述两个方面的研究都取得了较大进展，吸引了越来越多研究者的注意。

1.3 本论文的工作

为了更好地阐明本文的观点,在结构安排上将文章共分为五部分,安排如下:

第一章是绪论,主要从现实应用的角度进行分析,表明现今去雾研究方法正在越来越受到关注。并着重分析了国内外的研究现状,通过分析表明本课题具备研究的现实意义。

第二章主要是介绍本文算法的数学模型基础,即通过光学成像原理的物理分析,建立基于大气散射原理的图像去雾数学模型,并对该数学模型的变量参数进行分析,通过分离变量法分析模型中的三个变量,并发现传输图 t 跟大气光值 A 这两个是对复原解的效果影响比较大的变量,因此本文的目的便是寻求合适的算法来估算传输图 t 和大气光值 A 。暗通道图像去雾是目前最有效的去雾算法,本章也对暗通道去雾算法进行简单的介绍分析。

第三章基于假设图像在不同尺度具有不同的信息前提下,认为图像在不同的尺度空间下具有不同的特征结构,并介绍了常用的几种图像结构特征的数学表达。提出以块操作提取图像的不同暗通道尺度空间,从而得到精确估计的传输图,并采用高斯梯度算子提取暗通道图像的边缘尺度空间,从而在去雾的同时保持住图像的边缘,通过该方法得到的图像有着较好的对比度,去雾效果好。

第四章基于尺度空间理论的前提下,针对大气光 A 值的估算而展开求解,采用分割的思路对图像的暗通道图像进行处理,统计每个子区域的均值,防止单一取值造成的 A 值误估算。通过实验进行验证,结果表明,该算法可以得到良好的去雾效果。

第五章是对整个工作的总结与展望。

第二章 本文算法的数学模型分析

2.1 去雾图像模型的建立

为什么物理世界能够被人眼识别，而且同时还能把物体的颜色分辨出来？研究分析，人眼感知图像的过程，牵涉到三个主要原因，一个是传播的光线，一个是人眼结构，以及人本身的一些先验认识。人眼感知图像的过程，实际上是人眼感知光的过程，并将感知到的光通过视神经传达到人脑，脑神经结合人原先的一些经验判断，从而在脑中呈现出图像信息。

从光线的传播角度来分析，我们将人眼接收到的光线分为两种，一种是直接从发光光源而来的光线，如太阳、电灯光、烛光、火光、显视器的屏幕等；另一种是发光光源照射在非发光物体上所反射的光，如月亮、建筑墙面、涂料表面、染色织物的表面等。

图像是根据光学原理成像得到的，类比人眼感知图像的原理，摄像机拍摄到的图像可以看成是由“照射源”和形成图像的“场景”对光能量的反射或吸收相结合而成的。“照射源”可能是红外线，X 射线，可见光，雷达，超声波等，“场景”可以是日常所见的物体，也可能是分子，沉积岩或是人类大脑。光源的照射能量可以被物体反射，也可以穿透物体形成透射。利用传感器可以把照射分量变成数字图像。

平时空气中存在着大量悬浮颗粒，光线在传输的过程中不可避免地会受到这些粒子的影响。光在传输中受到这些粒子的散射，吸收和发散影响，到达人眼时，其光能量跟从景物出发时的光能量相比，衰减了很多。当出现大雾天气时，空气中的悬浮颗粒大量增多，这种衰减影响就更大了，使得到达人眼的光强大幅降低，人眼所观测到的景物模糊不清，对比度降低，形成退化图像。

基于以上分析，本文采用多数去雾算法中广泛使用的大气退化模型^[12]，如图 2.1 所示。该模型将成像设备所采集到的光线记为亮度图像 $I(x)$ ，表明观测者所接收到的观测光。此亮度图像 $I(x)$ 由两部分光路组成，一部分光路来自于由物体本身发出的光线以及物体表面对环境光的反射光线组成，记为 $J(x)$ ，表示原始场景的光强度；另一部分光路来自于大气背景环境光，相当于太阳光，记为 A ，

当处于真空环境时，所观测到的图像应该满足

$$I(x) = J(x) + A \quad (2-1)$$

但是因为大气中存在着各种介质，这些介质会对经过的光线产生影响。这两类光线在到达观测者前，会受到大气对它的散射，吸收和发射等一系列影响，考虑到大气中的介质微粒，比如烟尘，雾等颗粒的直径尺寸（40nm~90nm）都小于可见光的波长（400nm~750nm），因此光线经过时，都会受到这些颗粒物的散射作用，使得入射光偏离原来的传播方向，造成部分光线没有进入到成像设备中。这种现象，我们称之为光的衰减。为了体现这种物理衰减，我们需要引入一个衰减函数来体现这种光线传播特征。该函数必须体现出被观测场景与观测点之间的距离关系以及光通量的变化关系。也就是当距离较小时，光受到的散射也小，进入观测点的光通量多；当距离比较远时，光受到的散射多，进入观测点的光通量就少。为了简便计算，我们假设整个大气包含的介质是均匀的各向同性介质，为了使引入的函数符合这种物理衰减特性，我们采用指数函数来模拟这种衰减变化，记为 $t(x)$ ，如式（2-2）所示。采用指数函数的另一个好处在于，指数函数的微分跟积分都是指数函数。

$$t(x) = e^{-\beta d} \quad (2-2)$$

综合以上的分析，大气散射模型可以采用公式（2-3）表示：

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (2-3)$$

大气退化模型示意图如图 2.1 所示。

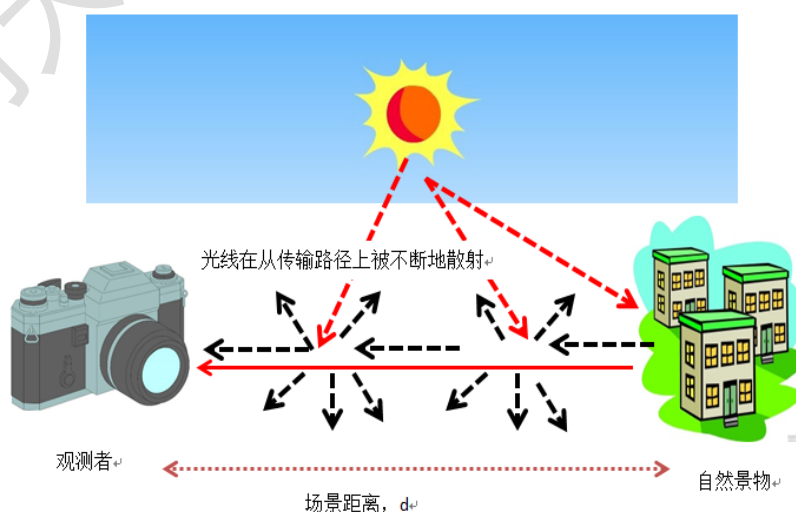


图 2.1 大气光散射成像模型

式中的各符号表示的意义，在下面进行一下说明：

$I(x)$ 表示实际进入观测者的光能量，也就是雾天情况下真正观测到的图像；

$J(x)$ 表示没有被衰减的原始场景的光强度，这里应该是清晰的没有退化的原始图像；

$t(x)$ 表示从景物发出来的光在传输路径上受到的大气散射的整体衰减影响。 t 与场景深度 d 有关，距离越近，衰减越少；距离越远，衰减越凶。呈反比例趋势，用指数函数来表示。

由图 2.2 指数函数的曲线可以知道，这样的估计是完全合理的。用 β (μ) 可以表示散射的强弱影响，当同一场景 d 不变时，雾的浓度越大，则 β 越大，此时的散射影响越严重，原始光强衰减越激烈，图像越模糊。假设大气中的介质是各向同性的均匀介质，则公式(2-2)中的 β 取常数。

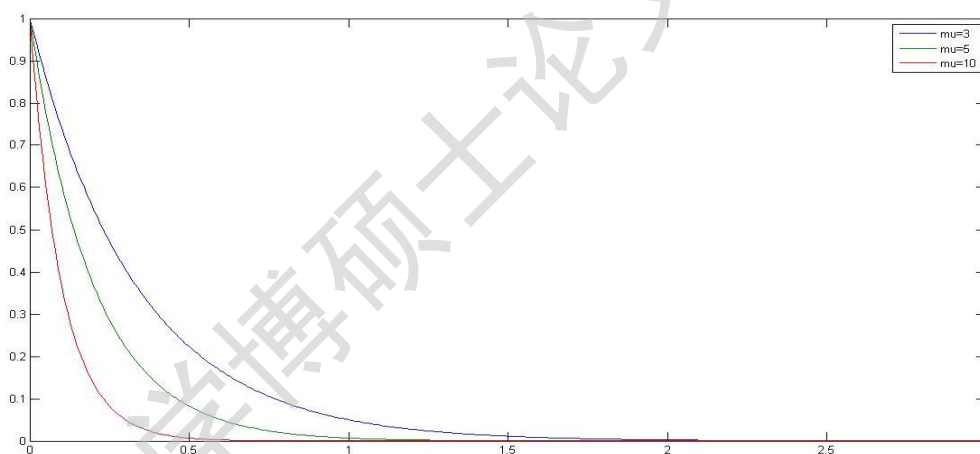


图 2.2 $t(x) = e^{-\beta d}$ 中 β (μ) 取不同值的情况

A 表示的是大气光强度，一般认为是太阳光，不会受到天气的影响，是个恒定值。到达观测者的光强度，可以认为是在整个太阳光背景下，太阳光扣除受到散射损失掉的光强而余下的光强度。

接下来分析一下噪声问题，摄像机采集图像时，在进行光信号转电信号的过程以及信号在各种设备之间传输时，会受到电子仪器本身的干扰，导致最终成像图片效果不佳。设备的影响主要是集中在以下几个方面：在采样的过程中，由于光电转换元器件灵敏度的不同而产生的模糊噪声；在对图像进行量化处理时产生的量化噪声；以及图像在传输过程中产生的误差等，都会使图像降质。这些噪声没办法去除，只能通过后续处理手段来去掉。因此在图像复原程中，需要对图像

进行去噪处理来得到质量较好的图像。前面的去雾模型，我们并没有将噪声对图像的影响考虑进去，但是噪声的存在如果不加于处理，会对我们的处理结果产生较大的影响，也就是影响传输图的精细化操作，从而对复原效果产生极大的影响。特别是对于包含有大量细节边缘丰富的图像，传输图的精细化程度会对复原效果产生极大的影响。因此，为了实现更好的去雾效果，本章把图像中的噪声干扰也考虑进去以完善模型。本章假设雾天成像的图像主要的噪声来自于加性噪。

综合上面的考虑因素，结合雾天成像的物理模型跟数字图像的成像机制，最终确定的图像去雾模型如下式（2-4）所示

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) + n(x) \quad (2-4)$$

2.2 本文模型的求解分析讨论

2.1.1 不考虑噪声影响观察 t 值变化对复原图 J 的影响

为了得到公式（2-4）的最佳解 $J(x)$ ，我们分析一下该公式，看哪些变量参数的影响大，哪些变量参数的影响小，从而制定出合适的求解方法。先从不考虑噪声影响的公式（2-3）入手，假设其它变量值不变，考虑变量 t 的估值对最终复原图像的影响，分析一下 t 值估算的精确度与最后复原图像的误差大小。为了便于分析，我们引入了一个新的符号，用 Δt 来表示传输图的微增量，当传输图微增时，复原的图像可以由下式公式（2-5）求得，

$$J'(x) = A - \frac{A - I(x)}{t(x) + \Delta t} \quad (2-5)$$

求取估算出来的图跟原始图的误差，如公式（2-6）所示，此处为了方便说明，同时引入一个新的符号 δJ 来表示：

$$\begin{aligned} \delta J &= |J'(x) - J(x)| \\ &= \left| \left(A - \frac{A - I(x)}{t(x) + \Delta t} \right) - \left(A - \frac{A - I(x)}{t(x)} \right) \right| \\ &= \left| \frac{A - I(x)}{t(x)} - \frac{A - I(x)}{t(x) + \Delta t} \right| = \left| \frac{(A - I(x)) \cdot \Delta t}{t(x)(t(x) + \Delta t)} \right| \\ &= \left| \frac{A - I(x)}{t(x)} \frac{\Delta t}{t(x) + \Delta t} \right| \leq \left| \frac{\Delta t}{t(x) + \Delta t} \right| \end{aligned} \quad (2-6)$$

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.