

普通数码相机在大气能见度测量中的应用方法研究

苏子牧

(清华大学, 北京 100084)

引言

大气能见度是重要的气象参数之一,也是表征近地大气污染程度的一个重要物理量,精确能见度测量能提前避免飞机起落和汽车通行在低能见度状况下的事故隐患,在阴霾天气的监测中也发挥着很大的作用。现行测量能见度的专业仪器主要为透射式能见度仪和前向散射式能见度仪等,精度高且探测范围宽,但多为固定安装,限制了能见度测量的地域范围和灵活性。小巧灵便的普通数码相机弥补了这一缺点,在保证一定精度的前提下可以以较快速度移动测量,故可对突发情况或大范围内的能见度情况做出评定。此外,由于数码相机的高普及率,缺少专业仪器的气象爱好者也可使用这种方法对周围地区的能见度有进一步了解。

1 适用于数码相机的能见度测量理论

在Koschmieder公式和Lambert-Beer定律的基础上可以得到目标亮度、距离、能见度等参数的理论关系(式1):

$$B_m = B_{r-0} e^{-\frac{3R}{V}} + B_0 \left(1 - e^{-\frac{3R}{V}} \right) \quad (1)$$

其中, B_{r-0} 为零距离反射亮度, B_0 为目标视线方向天光亮度, R 为目标与拍摄点间距(单位: m), V 为能见度(单位: m)。以上亮度单位均为 $J \cdot sr^{-1} \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ 。

通过调整、增减拍摄点和目标性质、数量和顺序,约去 B_{r-0} 、 B_0 等难以精确测量的物理量,获得四种测量方案,经分析筛选,得到如图1的拍摄点和目标模型。

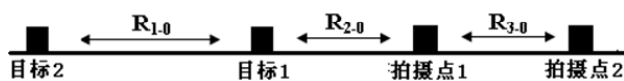


图1 拍摄点和目标模型

该模型对应的能见度、目标亮度、距离关系为:

$$V = \frac{3R_{3-0}}{\ln(B_{m2} - B_{m1}) - \ln(B_{m4} - B_{m3})} \quad (2)$$

上式中,在拍摄点1拍摄目标1与目标2测得目标亮度 B_{m1} 与 B_{m2} ; 在拍摄点2拍摄目标1与目标2测得目标亮度 B_{m3} 与 B_{m4} 。

收稿日期: 2011年4月28日; 修回日期: 2011年5月25日
作者: 苏子牧(1992—), Email: szm1992@yeah.net

2 误差分析

2.1 来源于数码相机的误差

相机方面,作者推导了相片单像素灰度与对应区域亮度(单位: $J \cdot sr^{-1} \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)的理论关系式(3),在此公式基础上解决了因为镜头分辨率不足导致的亮度偏差,由亮度过高、底片品质导致的光电非线性响应问题等。

$$B_m = \frac{4G\xi F^2 l_p^2}{\pi t l_d^2 p q D^2} = \frac{4G\xi f^2 l_p^2}{\pi t l_d^2 p q} \quad (3)$$

式中,相机通光口径为 D (单位: mm),排除暗电流后的目标图像灰度为 G ,通光时间为 t (单位: s),灰度、焦耳转换系数为 ξ ,底片尺寸为 l_d (单位: mm),对应边的最大像素长为 l_p (单位: 像素长),焦距为 F (单位: mm),目标图片尺寸为 $p \times q$ (单位: 像素长), f 为光圈 (F/D)。

2.1.1 因镜头分辨率不足导致的亮度偏差

对于前者,有以下判断方法:在目标亮度与所呈立体角一定的情况下,使用相异焦距值拍摄目标得到单位像素灰度值相同,在该焦距范围内拍摄的图像没有亮度偏差,反则失真。失真情况下,需要调大焦距值或增加目标在拍摄点立体角。

2.1.2 由亮度过高、底片品质导致的光电非线性响应现象

为排除光电非线性响应现象,本文分别对相机的感光度、曝光时间、光圈提出了约束及操作要求。提高感光度(与灰度、焦耳转换系数 ξ 成正比)会导致过大的相片噪点和暗电流,故感光度调整至最低即可。而为减小曝光时间、光圈真实值与标度值偏差以及光电非线性响应的影响,测量人员需由暗至亮以十挡曝光时间拍摄目标,后调高一档光圈并调低一档曝光时间,由亮至暗再以十挡曝光时间拍摄目标。该过程重复3~4遍。示例如下:

f11 1/3200 1/2800 1/1600 1/1250 1/1000 1/800 1/640 1/500 1/400 1/320 1/280
f8 1/4000 1/3200 1/2800 1/1600 1/1250 1/1000 1/800 1/640 1/500 1/400 1/320
f5.6 1/5000 1/4000 1/3200 1/2800 1/1600 1/1250 1/1000 1/800 1/640 1/500 1/400
f4 1/6400 1/5000 1/4000 1/3200 1/2800 1/1600 1/1250 1/1000 1/800 1/640 1/500

由以上数据可得到 $G \cdot t f^{-2}$ 的线性图像。取不同宽度线性区域(一般左起始点在原点)进行线性拟合,可得到截距(暗电流) - 斜率 ($B_m \pi l_d^2 p q / 4 \xi l_p^2$, 对照式2)图像,对该图像再进行拟合,得到截距为0的斜率值。若使用相同相机及相同感光度拍摄目标,斜率与目标亮度 B_m 有同等比例 ($\pi l_d^2 p q / 4 \xi l_p^2$), 而比例在式(2)中可约除。

(下转60页)

24小时的气象预报，这样的计算速度对天气预报来说显然是不够的。

然而，这种原始但富有发展潜力的早期计算机模拟技术已经令气象学家感到十分惊喜，这一技术最早在瑞典和美国的应用引领了数值天气预报在20世纪50年代快速发展。约翰·冯·诺伊曼明确表示计算机模拟可以代替一部分的数学物理实验过程。实际上，研究人员通常把在一些科学领域上运行的一些固定

模拟称为“数值试验”。

维森伯格在书中提出计算机模拟现在已经在很多科学领域占据着重要角色。同时他也指出，这种计算机模拟方法是被现有的基础理论所束缚，而并不是要改变或者是颠覆这些理论。维森伯格建议计算机模拟应该是利用现有的理论来模拟一些复杂的现象或者是进行一些实验，而并不是要求它们来创新科学理论。在书中，维森伯格利用现有

的哲学和科学参考文献深刻地分析了这个问题，他认为，模拟实验与真实实验之间的关系相当复杂，模拟真的能完全反映真实情况吗？作者对这种说法表示质疑，但同时也坚持认为模拟与真实实验之间的差异比一些批评家所说的更加微小。

维森伯格这种挑战性结论，将吸引科学家和科学哲学家以及许多一般读者的兴趣。

(作者单位：中国气象局)

(上接52页)

2.2 来自于目标及外部环境的误差

在目标零距离反射亮度与漫反射系数、目标表面法线与日光、拍摄方向夹角等因素间理论关系的基础上，本文也对目标、拍摄点提出了可减小测量误差的约束条件：在拍摄中应选择漫反射系数均匀的平面目标物；在不同拍摄点目标仰角不应过大；拍摄点间移动应尽量迅速；目标、拍摄点间下垫面材料分布尽量均匀；可以增大 $R_{1.0}$ ，尽量减小 $R_{2.0}$ ， $R_{3.0}$ 也应尽量增大，但不宜过分大于 $R_{1.0}$ 。

3 数据

在以上所有理论的基础上，作者在上海市浦东新区张扬北路巨峰路附近、金科路龙东大道附近使用相机Canon350D和Canon50D拍摄了若干组数据。与浦东气象局能见度测量仪器前向散射仪同时间段的数据比较，相关系数为99%，偏差为17%（如图2所示）。误差来源除以上分析的因素外，主要可能来自于天空背景光在不同时间段、不同地点的散射角及散射量不同。

以本项技术为基础，可以制作一款加快数据处理速度的软件，真正达到灵活测量能见度的目的。在此基础

上，再将此方法初步应用于大范围地区的能见度测量，可进一步验证应用数码相机测量能见度的可行性及其优点。

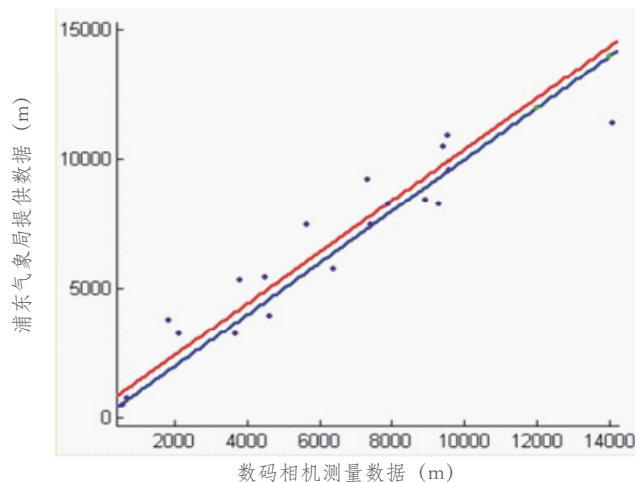


图2 数码相机测量能见度数据与浦东气象局提供数据的相关性

The Application of Common Digital Camera in Meteorological Visibility Measurement

Su Zimu

(Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: A new model is established to measure visibility by using digital cameras and improves the agility and the measuring range of Digital Photography Camera System for measuring visibility. The following work is done: 1) An object-observation point model, which is appropriate for using cameras to measure visibility, is built based on Koschmieder Formula and Lambert-Beer Law and it eliminates the physical quantities that cannot be measured by cameras accurately, such as the background diffused light, the sky background light in the direction of an object and the object reflex. 2) The following Error analyses are done: The error caused by inadequate resolution of the camera lens, dark current, deviation of camera parameter's (exposure time, aperture) actual value and show value and nonlinear photoelectric response is diminished by finding the relationship between grayscale per pixel and luminance and some factors such as the properties of the object surface, the intervals of object and observation point are restricted. 3) A certain number of visibility records are obtained by utilizing, the model established above. Correlation coefficient is 99% the accuracy's 17%. The result proves the feasibility of using camera to measure visibility preliminary.