

文章编号: 1001-3806(2015)06-0820-04

# 基于直方图统计的云/气溶胶层次查找算法研究

荣 微, 王玉诏

(北京空间机电研究所, 北京 100094)

**摘要:** 为了高可靠性地提取星载云/气溶胶激光雷达层次信息, 设计了一种基于直方图统计的层次分类方法。对这种方法进行了理论分析。结果表明, 该方法应用于不同特征的数据, 均能准确、高可靠性地查找出云/气溶胶的层次信息。该方法避免了目前层次查找方法对数据特征的约束, 是一种高可靠性、适用范围广的层次查找算法。

**关键词:** 激光技术; 层次查找; 直方图统计; 衰减后向散射系数

**中图分类号:** TN958.98      **文献标志码:** A      **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.06.019

## Study on detection algorithms of cloud/aerosol layers based on histogram statistics

RONG Wei, WANG Yuzhao

(Beijing Institute of Space Mechanics &amp; Electricity, Beijing 100094, China)

**Abstract:** In order to extract the layer for space-borne cloud/aerosol lidar reliably, a layer classification method based on histogram statistics was proposed. This method was analyzed theoretically. The experimental results show that the cloud/aerosol layer can be extracted reliably in different situations with this method. Compared with the current layer detection method, the new method can avoid the constraint for data feature. It is a highly-reliable and widely-applicable layer detection method.

**Key words:** laser technique; layer detection; histogram statistics; attenuated backscattering coefficient

### 引 言

云和气溶胶在地球大气系统中扮演着重要的角色, 对光传输、环境以及气候等有着重要的影响。例如, 它们可以通过吸收和散射太阳光影响地球能量的辐射收支平衡; 云的光学特性、云量以及云的寿命可影响降水<sup>[1]</sup>。近年来环境恶化, 多发的雾霾天气可影响人类的健康<sup>[2]</sup>。此外, 云和气溶胶的垂直分布廓线也可以辅助主被动遥感设备的大气传输校正<sup>[3]</sup>。因此, 云和气溶胶的探测具有重要的意义。

星载云/气溶胶激光雷达作为一种主动的遥感设备, 可以对全球范围内的云、气溶胶的垂直分布进行长时间的连续观测, 其回波信号中包含云高、云厚、云相态以及气溶胶的光学性质等众多信息<sup>[4-5]</sup>, 因此需要简单、快捷、有效的数据处理算法来提取所需要的信息。星载云/气溶胶激光雷达数据处理一般分层次查找、场景分类、层次消光特性反演 3 个步骤<sup>[6]</sup>。层次查找就是确定层次(云、气溶胶信号)所在的位置。目前现有的层次查找方法有斜率法和阈值法两种。斜率法是依

据激光雷达所探测到的后向散射原始回波信号对高度的依赖性来对层次边界位置进行定位的, 要求回波信号的信噪比高, 而星载激光雷达的信噪比一般很低, 因此斜率法不适用于星载激光雷达的数据处理<sup>[7-8]</sup>; 阈值法是通过检测回波信号中某段高度范围内的信号是否超过某一个或者一系列阈值信号的最大值来判断层次边界的<sup>[6-7]</sup>, 该阈值是用来衡量某段范围内大气是否清洁的临界值, 需要根据噪声统计模型以及经验值确定, 此外还要根据探测到的层次同步更新阈值, 层次的提取很大程度上依赖于阈值的设定, 人为因素影响比较大。

本文中介绍一种基于直方图统计的层次查找算法, 避免了弱信号与噪声之间强度的划分, 而是以数据的量化间隔为最小单位, 从回波强度对应数据量的角度提取层次信息。根据多组数据的处理结果, 验证了该方法适用于不同特征的回波信号, 具有高可靠性、适用范围广等特点。

### 1 直方图分布的层次查找原理

星载云/气溶胶探测激光雷达可以获得全球范围内的云、气溶胶的垂直分布廓线, 其中包含多种层次特征, 如图 1 所示。直方图分布的层次查找就是根据直方图统计的原理查找出云、气溶胶对应的层次。图 2 是进行衰减散射比(总的后向衰减散射数据与清洁大

作者简介: 荣 微(1986-), 女, 助理工程师, 主要从事激光大气探测方面的研究。

E-mail: rongwei01430603@163.com

收稿日期: 2014-09-15; 收到修改稿日期: 2014-10-13

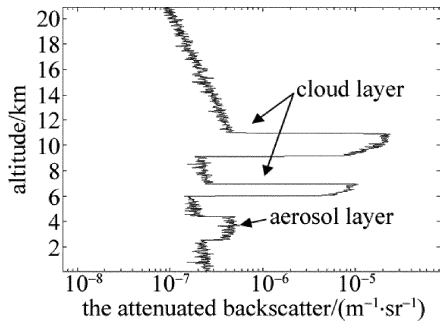


Fig. 1 Layer feature of the echo signal

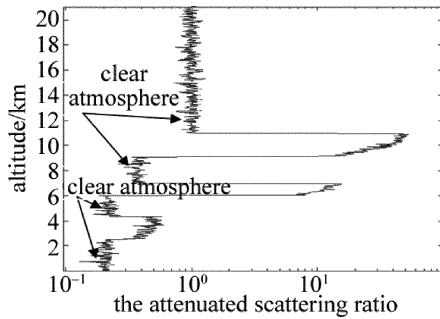


Fig. 2 Profile of the attenuated scattering ratios

气后向衰减散射数据之比)校正之后的回波信号,从图中可以看出,清洁大气的回波信号均分布在某一个数值附近。而云和气溶胶层的数据值偏大且无规律性。因此对衰减散射比信号每一点的数值进行统计,可得到如图 3 所示的结果,即清洁大气处对应数值的数据量明显大于云、气溶胶层。直方图分布的层次查找法就是基于这种思想查找云、气溶胶层所在的位置。

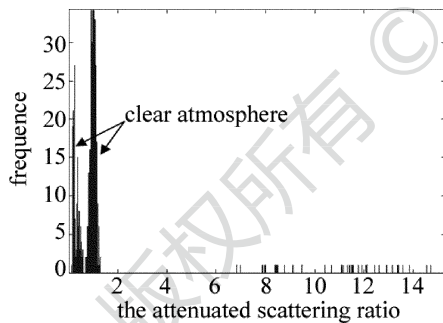


Fig. 3 Histogram distribution

直方图分布层次查找的步骤如下:(1)计算回波信号的衰减散射比廓线,建立“距离-比值”2 维矩阵;(2)按照计算处理的最小单位(0.0001)划分多个代表比值的单元,将所有的采样点放在对应单元中,记录每个单元的数据量及采样点的比值;(3)根据最大层次合并距离  $l$  (即在最大层次合并距离之内的层次均合并为一个层次)<sup>[2]</sup>和数据的垂直分辨率  $d$  找到数据量大于  $l/d$  的单元,然后按照比值相邻且距离相邻的条件划分为多个距离段;(4)求出所找到的所有距离段,求每一个距离段衰减散射比的平均值,按照距离由高到低查找,如果下一个距离段衰减散射比的平均值大

于前一个距离段的 2 倍(根据经验),则舍弃该段,继续进行查找,直到找出所有的距离段,即为清洁大气的区域,除此之外的区域为云和气溶胶层。

### 1.1 衰减散射比的计算

云/气溶胶激光雷达回波信号中包含大气分子的瑞利散射和云、气溶胶的米散射。衰减散射比即回波信号衰减散射数据与清洁大气的衰减散射数据的比值。衰减散射比廓线排除了大气分子后向散射的影响,便于层次查找。信号总的衰减散射数据公式如下<sup>[1]</sup>:

$$\beta_{total}'(z) = [\beta_p(z) + \beta_m(z)] \cdot T_p^2(z) \cdot T_m^2(z) \cdot T_{O_3}^2(z) \quad (1)$$

式中,  $\beta_p$  和  $\beta_m$  分别为气溶胶和大气分子的后向散射系数;  $T_p, T_m, T_{O_3}$  分别代表气溶胶、大气分子和臭氧的单程透过率。清洁大气的衰减散射数据如下:

$$\beta_{air}'(z) = \beta_m(z) \cdot T_m^2(z) \cdot T_{O_3}^2(z) \quad (2)$$

因而,衰减散射比为:

$$R'(z) = \frac{\beta_{total}'(z)}{\beta_{air}'(z)} = \left[ 1 + \frac{\beta_p(z)}{\beta_m(z)} \right] \cdot T_p^2(z) \quad (3)$$

从上式可以看出,在不考虑噪声的情况下,对于清洁大气层,  $\beta_p(z) = 0, T_p(z) = 1$ , 因此,  $R'(z) = 1$ ; 对于云、气溶胶层,  $R'(z) > 1$ 。因此,经过衰减散射比校正的信号有利于层次提取。

需要指出的是,激光雷达接收的回波信号是衰减散射信号与一个常数的乘积关系,而大气中的分子成分、分布相对稳定,其衰减散射信号可以根据大气分子模型仿真得到,因此两者在进行比值之前需要定标,即采用 30km ~ 40km 的清洁大气标校两者常数,并校正回波信号。

其中,仿真清洁大气的衰减散射信号时忽略  $O_3$  的影响,公式如下<sup>[9-10]</sup>:

$$\begin{cases} \beta_m(\lambda, z) = 1.54 \times 10^{-3} \left( \frac{532}{\lambda} \right)^4 \exp\left( \frac{-z}{7} \right) \\ \alpha_m(\lambda, z) = \frac{8\pi}{3} \beta_m(\lambda, z) \\ \beta_{air}'(z) = \beta_m(z) \exp\left[ -2 \int_0^z \alpha_m(z') dz' \right] \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $\alpha_m$  为大气分子的消光系数。

### 1.2 直方图统计及距离段的提取

从前面的分析可知,清洁大气处所对应的数值的数据量明显大于云、气溶胶层。因此根据数据量大于  $l/d$  和对应的距离信息可大致判断清洁大气层。但是存在两种情况(如图 4 所示)。

(1)被识别为清洁大气层的对应直方图中的数据除了来源于清洁大气层,还来源于其它距离处(如区

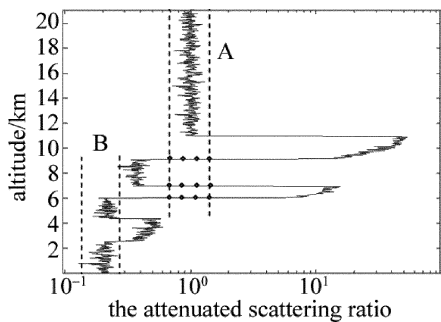


Fig. 4 Layer extraction

域 A 所示)。

(2) 被识别为清洁大气层的对应直方图中包含两组或两组以上的清洁大气层 (如区域 B 所示)。

为了避免以上两种情况, 在进行直方图统计, 查找出连续且数据量大于  $l/d$  的区域之后, 还要分析该区域内对应数据的距离信息, 将距离不相邻的点剔除, 距离相邻的一段或几段视为清洁大气。

### 1.3 云、气溶胶层次查找

星载激光雷达至上而下经过云层、气溶胶层、大气分子的散射吸收作用之后到达地面, 相比于大气分子的消光作用, 云、气溶胶的消光更强烈。因此, 经过云、气溶胶层之后, 光源的能量会得到较大的削弱, 清洁大气层的衰减散射比信号的比值会小于 1, 每经过一层云或气溶胶层, 比值都会有小幅度的减少。因此, 清洁大气层自上而下, 衰减散射比是逐渐减小的。由于本方法是基于分布数据点数量的方法识别回波信号层次信息的, 但是不排除有些较厚的云层的衰减散射比

布在某一数值附近的特殊情况, 如图 5 所示。这种情况下依然会识别出此段为清洁大气, 为了避免这种情况的发生, 需要将提取的距离段与前一距离段做比较, 根据经验, 平均值大于前一段清洁大气平均值的 2 倍则舍弃该段。如此进行下去, 直到查找了所有的“清洁大气”段。

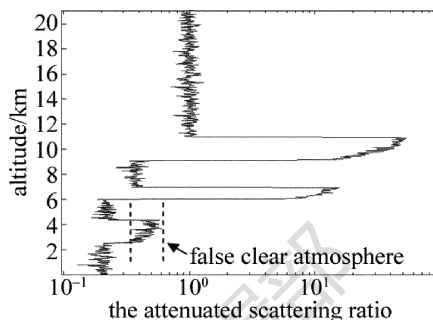


Fig. 5 Situation of false clear atmosphere

激光雷达的信号包含清洁大气段和云、气溶胶段, 因此整个探测范围除去清洁大气段就是要查找的层次段。

## 2 层次查找结果

根据上述介绍, 采用直方图统计的层次查找算法对 3 组数据进行处理。图 6a ~ 图 6c 是对衰减后向散射信号层次查找的结果 (一为清洁大气层; 一为云、气溶胶层); 图 6d ~ 图 6f 将查找出的层次信息还原到了原始信号中。从图中的查找结果可见, 直方图统计的层次查找算法能够准确地查找出衰减后向散射信号的层次信息, 适应于不同特征的回波信号, 可靠性强。

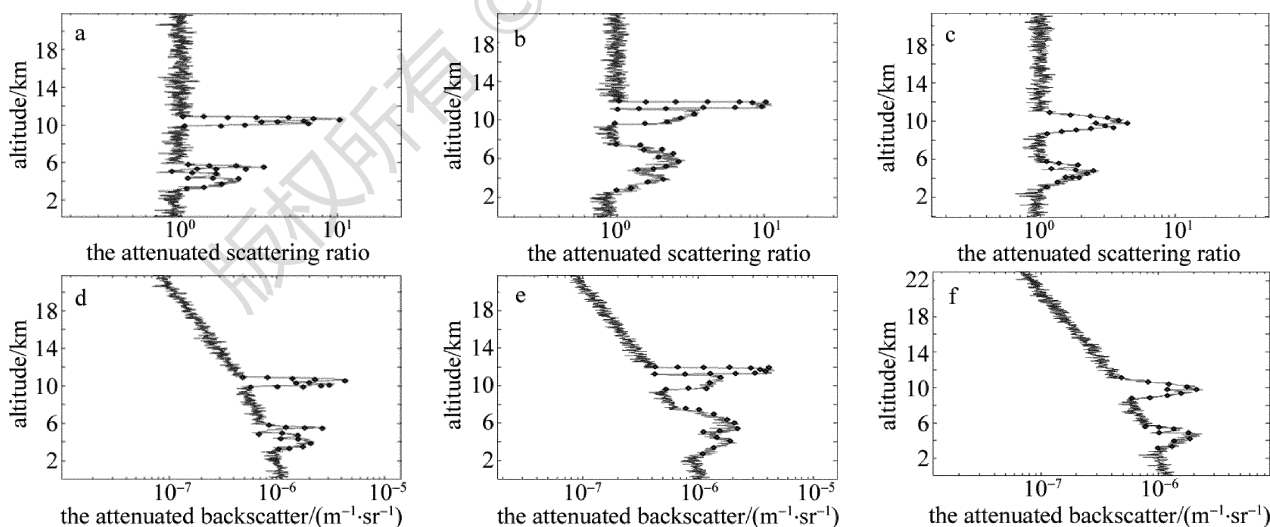


Fig. 6 Results of layer detection

## 3 小结

主要提出了一种基于直方图统计的星载云/气溶胶层次查找算法, 从回波强度对应数据量的角度提取层次信息, 有效地回避了阈值法对于阈值设定的敏感

性。通过数据处理的结果可以看出, 针对不同特征的回波信号, 本方法均可准确地查找出星载衰减后向散射回波信号的云、气溶胶层次信息, 因此, 本方法是一种具有高可靠性的层次查找算法。

### 参考文献

- [1] CHI R L. Dual-FOV mie lidar observations of tropospheric aerosol [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, 38(9): 2391-2396 (in Chinese).
- [2] FAN X Q. Analysis of the haze and its relationship with air pollution in xiamen [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2010; 1-17 (in Chinese).
- [3] MA Y, LI S, WENG Y K, *et al.* Hydrostatic delay correction for satellite laser altimeter [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(4): 909-914 (in Chinese).
- [4] QIU J H, ZHENG S P, HUANG Q R, *et al.* Lidar measurements of cloud and aerosol in the upper troposphere in Beijing [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(1): 1-7 (in Chinese).
- [5] CHI R L, LIU D, FAN A Y, *et al.* Development of polarization Mie-scattering lidar [J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, 29(5): 777-784 (in Chinese).
- [6] YU N N. Cloud-aerosol satellite borne lidar data retrieval algorithms' preliminary study [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012; 12-44 (in Chinese).
- [7] MA Y Y. Spaceborne lidar retrieval based on layer classification and data fusion [D]. Wuhan: Wuhan University, 2010; 13-48 (in Chinese).
- [8] LIU H T, WANG Zh Zh, LI Ch, *et al.* Numerical simulation analysis for detectability of spaceborne lidars [J]. *Laser Technology*, 2008, 32(6): 614-617 (in Chinese).
- [9] YANG Zh, LI Q, SUN D S. Study about atmosphere extinction coefficient based on 1064nm Mie-scattering lidar [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(2): 170-173 (in Chinese).
- [10] YAN W, ZHANG R W, DAI D P, *et al.* Simulation research on the atmospheric transmission characteristics and the return signal for laser [J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2012, 27(3): 564-571 (in Chinese).

《激光技术》编辑部

版权所有 ©