

米散射激光雷达剖面数据三次样条 垂直水平插值法*

陈浩^{1)†} 华灯鑫¹⁾ 张毅坤²⁾ 朱承炫¹⁾

1)(西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 西安 710048)

2)(西安理工大学计算机科学与工程学院, 西安 710048)

(2014年2月12日收到; 2014年3月10日收到修改稿)

传统的空间数据插值方法在米散射激光雷达剖面扫描数据的距离高度显示图可视化应用方面具有一定的局限性. 本文分析了米散射激光雷达剖面扫描数据以仰角为基础的空间位置关系与大气参数的空间分布特性, 分别在垂直与水平位置上合理选取参考数据, 给出位置相关性权重, 基于三次样条函数法进行数据变化趋势的平滑性修正, 完成缺失数据插值. 实验结果表明, 该方法能够有效提高米散射大气激光雷达扫描数据空间插值的准确性, 插值数据误差小, 距离高度显示图图形趋势过度平滑, 符合大气参数的整体变化规律.

关键词: 激光雷达数据, 数据插值, 三次样条, 数据修正

PACS: 42.30.Va, 07.05.Kf, 42.30.-d, 07.05.Rm

DOI: 10.7498/aps.63.154204

1 引言

可视化图形是激光雷达数据分析的主要手段, 距离高度显示图(range-height indicator, RHI)是呈现大气三维垂直剖面变化趋势被使用较多的图形之一. RHI图像以激光雷达三维数据为基础, 它展示是激光雷达三维数据的在某一方位角的剖面数据在直角坐标系中的扇形扫描区域^[1]. 激光雷达剖面扫描数据, 位于以雷达为中心的球坐标内, 是激光雷达三维数据的在的子集. 米散射激光雷达是利用米散射机理, 主要探测30 km以下低空大气中的尘埃、云雾等气溶胶粒子的激光雷达^[2]. 而此部分易受地物回波和大气折射影响, 加之硬件设备精度以及回波信号衰减等因素的影响, 极易产生噪音数据, 使采样数据不均匀, 给数据的插值带来困难, 影响RHI图的准确性. 因此, 插值方法对RHI图的影响至关重要.

常用大气数据插值的方法主要有: 最近邻法

(nearest neighbor mapping, NNM), 垂直线性法(vertical interpolation, VI), 垂直水平线性法(the VI plus a horizontal interpolation, VHI)^[3], 三线性法^[4], Barnes法^[5], 除此之外, 还有较为复杂的空间变分分析方法和基于统计学的插值方法等^[6,7]. 最近邻法(NNM)基于扫描数据网格单元中心和激光雷达扫描数据距离中心的距离, 这种方法虽然运行时间最少, 但是精确度最低. 垂直线性法(VI)仅在垂直方向采用线性插值, 不在水平方向上插值, 仅在垂直方向较好的保留的扫描数据形成的梯度. 垂直水平线性法(VHI)是垂直线性法的补充, 加入了水平方向上的线性插值, 但选用的参考数据不均匀, 易出现跳跃性变化. 三线性, Barnes法与其他更复杂的方法在使用条件上都有一定的局限性, 不能完全适用于大气激光雷达剖面扫描数据的插值.

大气参数的时空特性和米散射激光雷达数据结构特性是插值过程必须考虑的因素. 米散射激光雷达剖面扫描数据的空间间距是不均匀的序列, 在空间的仰角, 方位角等方面的呈离散性. 本文基于

* 国家自然科学基金科学仪器基础研究专项(批准号: 41027004)和国家自然科学基金(批准号: 61275185)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: haozi2638@163.com

米散射激光雷达剖面数据的空间特性, 通过研究大气激光雷达三维扫描的空间结构及其数据特征, 选取相关的参考数据, 结合三次样条函数进行数据插补与修正, 提高插值数据的准确性与RHI图形的平滑性.

2 激光雷达三维数据插值方式的选取

为了便于描述米散射激光雷达剖面扫描数据的可视化方法, 必须了解大气激光雷达数据的结构特点.

大气激光雷达三维扫描数据空间结构如图1所示. 它位于以雷达为中心的球坐标系(仰角、方位角、斜距)内, 设 D 表示大气激光雷达三维扫描数据值, R 为斜距, R 与采样频率有关, Φ 为方位角, θ 为仰角, r_{i-1}, r_i, r_{i+1} 表示相邻探测点的距离, $r_{i+1} - r_i = l$, l 为激光雷达的距离分辨率, φ_i, φ_{i+1} 表示相邻方位角, $\theta_{i-1}, \theta_i, \theta_{i+1}$ 表示相邻仰角. (R, Φ, θ) 表示某一三维扫描数据点在球坐标系中的位置, 则此位置的三维扫描数据值为 $D(R, \Phi, \theta)$.

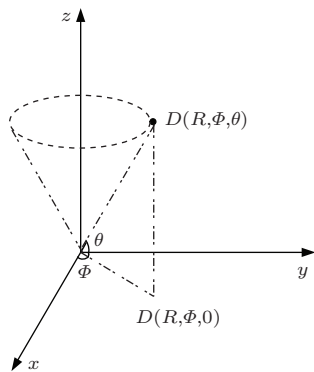


图1 大气激光雷达三维扫描数据空间结构

对于大气参数的垂直剖面指观测方位角 φ 保持不变, 以变化的仰角 θ 为方向对大气参数进行扫描采样, 在同一仰角 θ 向形成等距(r)的离散数据. 因此, 激光雷达三维扫描数据是按仰角顺序排列的各个仰角方向上的回波数据记录有序集合, 是一组序列数据, 其位置与仰角 θ 和斜距 R 的大小有关. 则三维扫描数据在二维极坐标的形式就简化为 $D(R, \theta)$. $d(r_j, \theta_{i+1}), d(r_j, \theta_i), d(r_j, \theta_{i-1})$ 为三维扫描数据, $d(r, \theta)$ 为未知数据点. 数据 $D = \{d(r_j, \theta_i)\}$, 为大气激光雷达二维剖面扫描数据的极坐标序列, 其中 $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, m$ 为仰角(θ)数, n 为激光雷达在仰角 θ

方向上的采样点数.

可知, 激光雷达扫描剖面数据在靠近雷达部分数据点密集, 远离雷达位置数据点稀疏, 且仰角越大, 数据点位置距离越大, 插值数据点越多.

另外, 大气30 km低空以下受到热和风的影响, 活动剧烈, 易形成随机的湍流运动^[8], 引起激光雷达传输光线的随机漂移, 强度、相位和传输方向也会出现相应的随机变化^[9-11]. 同时, 受到大气边界层影响测量数据出现跳动. 同时, 对于对流层稳定大气而言, 大气参数处于一个稳定状态, 大气水平方向上的扩散较弱, 分层不明显, 在一定范围内参数特征变化很小, 而垂直方向分层变化较明显^[12].

综合以上激光雷达数据的结构特点以及大气参数的空间特性, 可见插值数据点周围垂直于水平方向上的观测数据是影响缺失位置数据值的关键因素.

本文融合了垂直插值法和垂直水平插值法两者选取插值参考数据点的优点, 在插值数据点的垂直方向的两侧仰角方向上同时取参考数据, 考虑到三次样条函数在数据趋势拟合以及计算效率上的综合优点^[13-15], 利用其进行数据修正, 保证插值数据在垂直水平方向上的平滑过渡.

3 三次样条垂直水平插值法

图2中, $d(r, \theta)$ 为未知数据点, 其在极坐标中的位置为实线空心节点, 周围黑色节点为已知大气激光雷达扫描数据, 其中, $\theta_i < \theta < \theta_{i+1}, 0 < r < r_n, i = 1, 2, \dots, m, m$ 为大气激光雷达扫描数据的极坐标序列 $D = \{d(r_j, \theta_i)\}$ 的仰角数, n 为激光雷达在仰角方向上的采样点数.

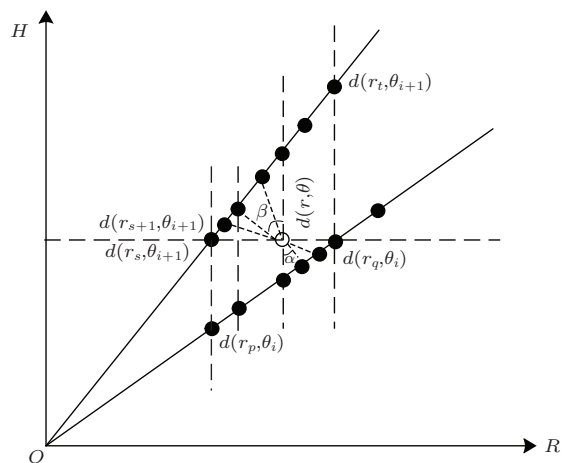


图2 大气激光雷达数据插值修正示意图

1) 选取参考数据节点. 图2中, $d(r_s, \theta_{i+1})$ 和 $d(r_q, \theta_i)$, 分别是经过未知节点 $d(r, \theta)$ 的水平线与其相邻上下两个仰角层 θ_i 和 θ_{i+1} 的交点, $d(r_t, \theta_{i+1})$ 和 $d(r_p, \theta_i)$ 分别为经过 $d(r_s, \theta_{i+1})$ 和 $d(r_q, \theta_i)$ 的垂直线与两个仰角层 θ_i 和 θ_{i+1} 的交点. 其中, $r_1 \leq r_s, r_t, r_p, r_q \leq r_n$, 则有

$$\begin{aligned} r_t &= r \cos \theta / \cos \theta_{i+1}, \\ r_p &= r \cos \theta / \cos \theta_i, \\ r_s &= r \sin \theta / \sin \theta_{i+1}, \\ r_q &= r \sin \theta / \sin \theta_i. \end{aligned}$$

仰角 θ_{i+1} 方向上, 从斜距 r_s 到 r_t 的节点与仰角 θ_i 方向上, 从斜距 r_p 到 r_q 的节点与未知节点 $d(r, \theta)$ 相邻较近且在水平方向上有交集.

从大气参数空间分布规律可知, 空间位置越近, 其大气参数数据越相近, 则, 未知节点 $d(r, \theta)$ 的数据值, 可通过其周围的观测点数据计算得出. 这里, 将未知节点 $d(r, \theta)$ 与两侧节点在水平和垂直方向交点之间的数据选为插值参考数据, 即仰角 θ_{i+1} 方向斜距 r_s 到 r_t 的节点与仰角 θ_i 斜距 r_p 到 r_q 的节点作为节点 $d(r, \theta)$ 数据值的参考数据节点.

2) 确定参考数据权值. 参考数据的权值决定了不同位置的观测数据对插值数据值的影响程度. 参考数据与未知数据点 $d(r, \theta)$ 的相对位置在水平方向上的比例与其权值成正比, 在垂直方向上的比例与其权值成反比. 采用参考数据与未知数据点 $d(r, \theta)$ 的位置的连接线与水平方向的夹角关系确定.

数据点 $d(r, \theta)$ 和参考数据的相关关系如下:

$$\begin{aligned} & d(r, \theta) \\ &= [\omega_1 d(r_s, \theta_{i+1}) + \omega_2 d(r_{s+1}, \theta_{i+1}) + \cdots \\ & \quad + \omega_{t-s+1} d(r_t, \theta_{i+1}) + \omega_{t-s+2} d(r_p, \theta_i) \\ & \quad + \omega_{t-s+3} d(r_{p+1}, \theta_i) + \cdots \\ & \quad + \omega_{t-s+q-p+2} d(r_q, \theta_i)] \\ & \quad \times (\omega_1 + \omega_2 + \cdots + \omega_{t-s+q-p+2})^{-1}, \quad (1) \end{aligned}$$

$\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_{t-s+q-p+2}$, 分别是参考数据点 $d(r_s, \theta_{i+1}), d(r_{s+1}, \theta_{i+1}), \cdots, d(r_q, \theta_i)$ 的权值系数, 即

$$\begin{aligned} d(r, \theta) &= \left(\sum_{n=1}^{t-s+1} \omega_n d(r_{s+n-1}, \theta_{i+1}) \right. \\ & \quad \left. + \sum_{n=t-s+2}^{t-s+q-p+2} \omega_n d(r_{p-t+s+n-2}, \theta_i) \right) \end{aligned}$$

$$\times \left(\sum_{n=1}^{t-s+q-p+2} \omega_n \right)^{-1}, \quad (2)$$

其中,

$$\omega_k \begin{cases} \cos \beta_k, & 1 \leq k \leq t-s+1, \\ \sin \beta_k, & t-s+2 \leq k \\ & \leq t-s+q-p+2, \end{cases} \quad (3)$$

$k = 1, 2, \cdots, t-s+q-p+2$. β_k 是参考数据点 $d(r_s, \theta_{i+1}), d(r_{s+1}, \theta_{i+1}), \cdots, d(r_t, \theta_i)$ 与未知节点 $d(r, \theta)$ 的连接线与经过节点 $d(r, \theta)$ 的垂直线的夹角 (如图2), $0^\circ \leq \beta_k \leq 90^\circ$. 若 $\theta = \theta_{i+1}$ 或 $\theta = \theta_i$, $r_s = r_t, r_p = r_q$.

3) 边界参考数据的处理. 仰角 θ_i 方向上的各个参考数据点与未知节点 $d(r, \theta)$ 的连接线与经过节点 $d(r, \theta)$ 的垂直线的夹角记为 α (如图2), β 从 0° 开始扫描, 若斜距 $r_p < r < r_n$, 则包括在仰角 θ_i 方向上的参考数据中, 若 $r_n < r$, 那么 $d(r_t, \theta_{i+1})$ 和 $d(r_q, \theta_i)$ 将不能包括在仰角 θ_i 方向上的参考数据中.

4) 三次样条插值修正. 垂直方向上的观测数据可以确定惟一的拟合曲线, 曲线上任意一点都有惟一的空间参数斜距 r 和仰角 θ 与其对应. 这里基于三次样条函数原理 [14,15], 给出数据插值修正的具体方法.

在插值数据点 $d(r, \theta)$ 对应的笛卡尔积坐标垂直方向处, 笛卡尔积坐标表示为 $(r \cos \theta, r \sin \theta)$, $0 \leq r \leq r_n, 0^\circ \leq \theta \leq \theta_m$. 选其与大气激光雷达扫描方向仰角 θ_i 的相交的节点 $d(r_j, \theta_i)$, $i = 1, 2, \cdots, m, j = 1, 2, \cdots, n, 0^\circ \leq \theta_i \leq \theta_m$, $r_j = r \cos \theta / \cos \theta_i$. 选 $a = r_k \cos 0 < r_{k+1} \cos \theta_1 < r_{k+2} \cos \theta_2 < \cdots < r_{k+m+1} \cos \theta_m < b$, 作为 $[a, b]$ 上的一个划分, $r_k, r_{k+1}, \cdots, r_{k+m+1} \in [r_1, r_n], r_k$ 为仰角 $\theta = 0^\circ$ 时与 $d(r, \theta)$ 的垂直方向相交的数据点的斜距, r_{k+m+1} 为仰角 θ_m 时与 $d(r, \theta)$ 的垂直方向相交的数据点的斜距.

$S(x)$ 是定义在这个区间上的三次样条函数. 在任意区间 $x \in [r_{k+i} \sin \theta_i, r_{k+i+1} \sin \theta_{i+1}]$, ($i = 1, 2, \cdots, m-1$), 则三次样条插值数据为 $S(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$, 表达式为

$$\begin{aligned} & S(r \sin \theta) \\ &= \frac{1}{h_i^3} \{ [h_i + 2(r \sin \theta - r_{k+i} \sin \theta_i)] \\ & \quad \times (r \sin \theta - r_{k+i+1} \sin \theta_{i+1})^2 \} d(r_{k+i}, \theta_i) \end{aligned}$$

表 1 不同插值法交叉验证误差结果

仰角 θ		NNM	VI	VHI	CSVHI
5°	MAE	3, 669, 395.61	44058121.95		6285711.10
	MRE	0.37	5.21		2.31
	RMSE	9, 106, 109.93	50, 144.50		12, 068, 843.15
10°	MAE	6, 247, 449.74	27, 570, 605.15	4, 082, 211.29	3, 656, 333.87
	MRE	7.48	29.76	1.84	0.46
	RMSE	10, 002, 373.79	435, 707.91	10, 140, 140.434	6, 592, 611.53
15°	MAE	5, 563, 587.51	19, 938, 035.45	5, 285, 417.874	3, 136, 065.44
	MRE	0.30	28.18	0.36	0.31
	RMSE	11, 666, 460.99	403, 979.07	9, 608, 996.52	6, 653, 197.15
20°	MAE	4, 605, 377.45	14, 135, 606.85	3, 772, 302.43	3, 195, 608.73
	MRE	0.46	1.50	2.33	0.37
	RMSE	7, 400, 562.89	6, 369.33	3, 967, 048.39	7, 647, 108.62
25°	MAE	4, 649, 249.86	9, 026, 167.74	4, 170, 713.79	3, 879, 362.05
	MRE	0.75	9.36	0.40	0.41
	RMSE	8, 367, 565.61	138, 170.39	8, 413, 625.98	7, 226, 116.77
30°	MAE	2, 995, 572.85	8, 861, 424.13	4, 267, 176.28	2, 725, 071.33
	MRE	0.27	6.32	0.62	0.47
	RMSE	2, 289, 804.49	91, 481.64	4, 953, 931.76	4, 285, 706.29
35°	MAE	995, 864.64	8, 209, 813.86	2, 717, 582.73	1, 222, 291.68
	MRE	0.18	7.75	0.21	0.18
	RMSE	1, 670, 449.77	119, 508.43	3, 774, 073.78	1, 518, 337.08

由表 1 可以得出, 三次样条垂直水平法的平均绝对误差 (MAE) 在仰角为 10° 到 30° 是最小的, 在 10° 到 35° 优于垂直线性法和垂直水平线性法, 可见该方法误差范围较其他方法更小. 最近邻近法和三次样条垂直水平法的相对平均误差 (MRE) 最小, 垂直水平线性法次之, 垂直线性法相对平均误差最大, 即三次样条垂直水平法插值数据对于观测数据值有较高的准确度. 对于均方根误差 (RMSE), 最近邻近法最大, 其次依次为垂直线性法, 三次样条垂直水平法, 和垂直水平线性法. 三次样条垂直水平法在插值数据的灵敏度和极值情况也具有相对优势.

为了更加直观的比较各个插值法的误差, 这里任选一仰角, 采用不同插值法对此仰角处的数据进行插值数据误差比较. 这里选取仰角 $\theta = 10^\circ$ 的观测方向, 分别使用最近邻法, 垂直线性插值法, 垂直水平线性插值法以三次样条垂直水平插值法, 进行数据插值, 其误差在各个观测点出的变化情况如

图 3 所示.

由图 3 可以看出, 最邻近法的误差范围最大, 垂直线性法的误差波动较多, 三次样条垂直水平法的误差范围最小, 且波动较小.

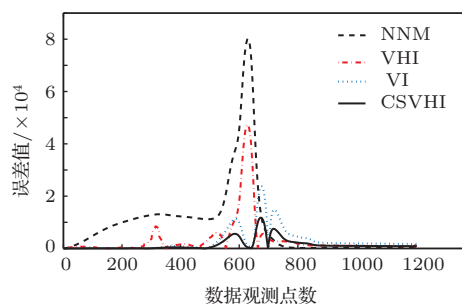


图 3 四种插值方法插值误差的时间序列分布

分别使用上述四种插值方法对插值数据和颜色之间进行映射, 使数据的变化通过颜色反应到具体的图形中, 完成 RHI 图的绘制. 图 4 为各插值法绘制的 RHI 图. 纵坐标从 3 km 开始绘图.

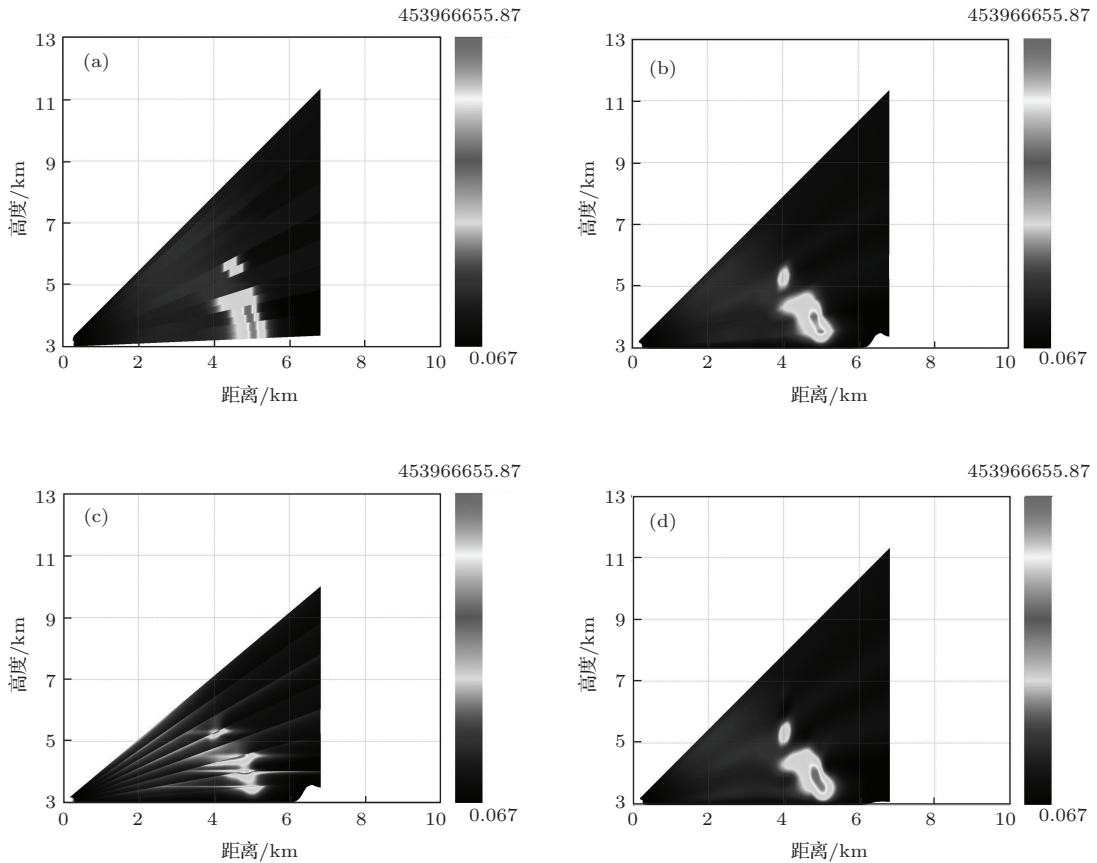


图4 四种插值方式绘制 RHI 图 (a) 最邻近法绘制的 RHI 图; (b) 垂直线性法绘制的 RHI 图; (c) 垂直水平线性法绘制的 RHI 图; (d) 三次样条垂直水平法绘制的 RHI 图

图 4(a) 最邻近法中, RHI 图有明显的隔层梯度现象, 平滑性差, 大气气溶胶的范围形状特性呈现不明显, 难以给予观察者气溶胶消光系数特性的细节信息.

图 4(b) 垂直线性法中, RHI 图中气溶胶的范围形状特性呈现基本明显, 在观测仰角方向上形成明显的图像分割现象. 在宽度为 5 km, 高度为 3.5 km 处, 过渡不平滑, 数据出现跳跃现象, 这种数据突然变化的趋势明显不符合大气参数缓慢变化的规律.

图 4(c) 垂直水平线性法中, 由于受到各个仰角两侧观测数据的影响, RHI 图像出现明显的以仰角为单位的阶层分离情况, 在宽度 5 km, 高度 5 km 气溶胶聚集位置尤为明显, 即大气气溶胶参数每个仰角的变化可以是突然变化的, 这明显不符合大气气溶胶的变化分布规律.

图 4(d) 三次样条垂直法绘制的 RHI 图过渡平滑, 在宽度 4—6 km, 高度 5.5 km 以下, 气溶胶范围, 形状, 细节信息明显, 过度平滑, 前后数据变化缓和, 没有出现趋势断层现象. 整体数据等值线光滑, 符合大气温度的变化情况.

此外, 对于插值方法的效率, 这里采用一组 9 观测个仰角的数据, 距离分辨率为 3.75 m, 观测距离为 25 km, 观测数据点从 1000 到 6000, 每隔 1000 个观测点测试最近邻法 (NNM), 垂直线性插值法 (VI), 垂直水平线性插值法 (VHI) 以及本文的三次样条垂直水平法 (CSVHI) 的绘图效率. 实验运行硬件环境为处理器 Intel Core i3-2120 CPU, 主频为 3.3 GHz, 内存 4G, 操作系统 Windows 7 64 位. 图 5 是不同观测点下各个插值绘图方式的程序运行时间曲线图.

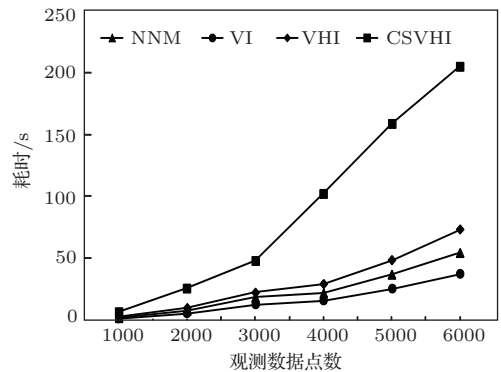


图5 四种插值绘图方式运行时间对比图

由图5中可得, 算法运行效率 $NNM > VI > VHI > CSVHI$, 三次样条垂直水平法运行时间最大, 大于3000个观测点, 运行时间增速加快, 其他方法运行时间增速相对稳定.

综上所述, 三次样条垂直法对数据插值的误差小, RHI图对气溶胶特性描绘准确, 数据的变化趋势清晰, 在垂直和水平方向的平滑过渡性较好, 但是在观测数据点数较大的情况下运行效率明显下降. 然而, 在米散射激光雷达探测的地矿大气并不要求RHI图形实时显示, 结合上述插值方式的误差效果, 可见三次样条垂直法对RHI图形插值绘制具有明显的优势.

5 结 论

本文从大气参数垂直剖面的特性与激光雷达数据的特点出发, 基于大气参数的空间分布分析了现有大气数据插值法的局限性: 不具有普适性, 存在诸多限制, 并不能适用于大气激光雷达剖面扫描数据的插值. 给出了基于大气参数空间垂直水平分布特性的三次样条插值修正算法. 克服了垂直插值法不考虑水平方向上插值, 以及垂直水平法仅在水平方向部分位置插值导致插值数据不均匀的不足. 实验通过对插值数据的误差分析, RHI图的绘制效果以及图形绘制效率的分析, 结果表明, 对于米散射激光雷达探测的低空大气, 本文的插值方面精度高, 误差小, RHI图形过度平滑. 但对于高空大气探测由于数据量增大, 计算效率变低, 在下一步的研究中, 将从高空大气探测数据的插值精度与算法

执行效率两方面对进行研究.

参考文献

- [1] Yang Y, QIU C J 2004 *Arid Mete.* **22** 6 (in Chinese) [杨毅, 邱崇践 2004 干旱气象 **22** 6]
- [2] Di H G, Hua D X, Wang Y F, Yan Q 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 094215
- [3] Nielsen J E, Thorndahl S, Rasmussen M R 2014 *Atmospheric Research* **138** 1
- [4] Wang J, Li H X, Wang J Y, Miao Z H 2009 *Acta. Elec. Sin.* **37** 1482 (in Chinese) [王杰, 李洪兴, 王加银, 苗志宏 2009 电子学报 **37** 1482]
- [5] He X F, Xu Q, Lei S K, Qin M J, Zhang X F 2011 *Comp. App.* **31** 43 (in Chinese) [何险峰, 徐箐, 雷升锴, 秦明俊, 张祥峰. 2011 计算机应用 **31** 43]
- [6] Gao J, Xue M, Shapiro A, Droegemeier K K 1999 *Mon. Wea. Rev.* **127** 2128
- [7] Li X G, Dai B D, Wang L H 2010 *Chin. Phys. B* **19** 120202
- [8] Qian X M, Zhu W Y, Rao R Z 2012 *Chin. Phys. B* **21** 094202
- [9] Ji X L, Xiao X, Lü D 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 3996
- [10] Ji X L 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 692 (in Chinese) [季小玲 2010 物理学报 **59** 692]
- [11] Zhang G X, Zhao Y F, Zhang Y C, Zhao P T 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7390 (in Chinese) [张改霞, 赵曰峰, 张寅超, 赵培涛 2008 物理学报 **57** 7390]
- [12] Chen L H, Lin W T, Lin Y H, Mo J Q 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 140202 (in Chinese) [陈丽华, 林万涛, 林一骅, 莫嘉琪 2012 物理学报 **61** 140202]
- [13] Chen H, Hua D X, Zhang Y K, Yan Q, Li S C 2013 *Jour. of Sci. Instr.* **34** 831 (in Chinese) [陈浩, 华灯鑫, 张毅坤, 闫庆, 李仕春 2013 仪器仪表学报 **34** 831]
- [14] Gao S, Zhang Z, Cao C G 2011 *Jour. of Comp.* **6** 2037
- [15] Thant A A, Khaing K 2009 *Engi. and Tech.* **38** 38

A method of vertical and horizontal plus cubic spline interpolation for Mie scattering lidar profile data*

Chen Hao^{1)†} Hua Deng-Xin¹⁾ Zhang Yi-Kun²⁾ Zhu Cheng-Xuan¹⁾

1) (School of Mechanical & Instrumental Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

2) (School of Computer Science & Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

(Received 12 February 2014; revised manuscript received 10 March 2014)

Abstract

Since the traditional spatial data interpolation method has its limits in describing the RHI (range-height indicator) graph for Mie scattering lidar scanning profile, it cannot be applied to the visualization of Mie scattering lidar space-time scan data, and it is also difficult to achieve the continuity in atmospheric parameters evolution process. This paper analyzes the space-position relations in lidar scanning profile data based on the scanning elevation and spatial distribution characteristics of the atmospheric parameters, chooses the reference data rationally of vertical and horizontal positions, and gives the position relevant weight. The smoothness of data is revised by a cubic spline function and the missing data are replenished by interpolation finally. Results show that this method can improve effectively the accuracy of atmospheric lidar scanning data space interpolation, produce few errors; and the RHI graph becomes smooth, thus it conforms to the overall change rule of atmospheric parameters.

Keywords: lidar data, data interpolation, cubic spline function, data revision

PACS: 42.30.Va, 07.05.Kf, 42.30.-d, 07.05.Rm

DOI: [10.7498/aps.63.154204](https://doi.org/10.7498/aps.63.154204)

* Project supported by the National Natural Science Foundation for the Research of Scientific Instrument of China(Grant No. 41027004), and the National Natural Science Foundation of China(Grant No. 61275185).

† Corresponding author. E-mail: haozi2638@163.com