

基于差分计算的林木测量二维点云数据滤波

王建利, 刘晋浩*, 王 典, 王 璐

(北京林业大学, 北京 100085)

摘要:为滤除激光扫描仪获取的林地采育作业环境的无效数据,从原始数据中抽取出目标立木的数据,需要对扫描仪获取的数据进行滤波处理。将差分方法应用于数据滤波,通过 MATLAB 编程实现滤波算法并对其关键阈值进行分析研究。结果表明,在 32 m 的扫描范围、0.5 度的分辨率的条件下,设定有效点个数为 3~40 个,阈值为 200(mm)时,可以把目标立木从原始信号数据中有效过滤出来。

关键词:林木测量;二维点云;数值分析;差分计算;滤波

中图分类号:S782 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)03-0193-04

Data Filtering of Two-dimensional Point Cloud in Forest Measurement
Based on Difference Calculation

WANG Jian-li, LIU Jin-hao*, WANG Dian, WANG Lu

(Beijing Forestry University, Beijing 100085, China)

Abstract: To filter out useful data of standing tree from original data obtained by the laser scanner, data filtering is needed. The possibility of using difference calculation into data filter was studied. An algorithm was programmed through MATLAB based on difference calculation, and it was then used to analyze the critical threshold of this algorithm. The result showed that the number of valid data point was between 3 and 40, and the critical threshold could be set as 200 millimeters in this experimental condition, with the scan scale, of 32 meters and the sensitivity of 0.5 degree, the standing tree could be filtered out efficiently.

Key words: forest measurement; two-dimensional point cloud; numerical analysis; difference calculation; filter

森林资源在人类生产生活中占有重要位置,而林地作业却面临许多问题,联合采育装备解决了工人劳动强度大的问题,但仍然难以实现快速有效地识别可采木。通过激光扫描仪收集林地信息,并对其进行滤波处理从而得到可采木的有效数据是一个研究方向。本文根据数值分析中的差分方法对滤波程序的设计进行了探索和研究。

1 原始扫描数据及其分析

扫描仪(SICK 公司生产的 LMS291)通过自编专用程序将扫描数据传送到 PC 端,图 1 为扫描范

围 32 m、100°, 分辨率 0.5 度时获得的扫描距离示意图。图 2 为试验地的树木的分布情况。

从图 1 中可以观察出原始数据的特点是:

- A、数据波动较为明显(图 1 中圈 1、圈 2 所示),
- B、数值相近的数据连续出现(图 1 中圈 3)。

出现 A 的原因是扫描激光束遇到树叶或灌木枝条,导致有的激光束提前返回,有的延迟返回,在数据上表现为波动;

出现 B 的原因是激光遇到墙体或其他表面比较平整的干扰(如大石块),或是超出扫描范围。

收稿日期:2011-10-21 修回日期:2011-12-24

基金项目:国家林业局引进国外林业先进技术(2011-4-02);国家自然科学基金(31070634)。

作者简介:王建利,男,硕士研究生。研究方向:森林工程装备及自动化。E-mail: jianli_bjfu@163.com

* 通讯作者:刘晋浩,男,教授,博士生导师,研究方向:森林工程、林业与环境特种装备。E-mail: liujinhao@bjfu.edu.cn

2 差分方法滤波原理分析

在数学上一般采用求导数的方法来求函数的极值。从图 1 中可以看出,每一株立木都对应数据曲线上的一个极小值,离散函数不可导,但可以采用差分方法来求出极值位置。

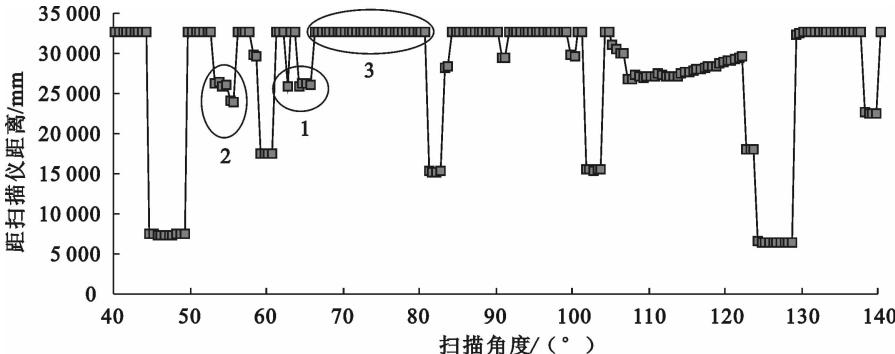


图 1 原始数据示意

Fig. 1 Original Data



图 2 试验场地内树木的分布

Fig. 2 Trees on plots

原始扫描数据是一个二维数组,其中包括一维扫描仪到目标点的距离 R 和该目标点在以扫描仪为原点的极坐标下的极角 β 。此试验中 $\beta=40+0.5(n-1)$, n 为 1 到 201 的自然数,表示扫描点的个

数,所以 R 可表示为 $R=R_{(n)}$,数据滤波的目标函数是 $R_{(n)}$,根据差分定义,可得距离的差分表达式为:

$$\Delta R_{(n)}=R_{(n+1)}-R_{(n)} \quad (2)$$

运算结果如图 3 所示。

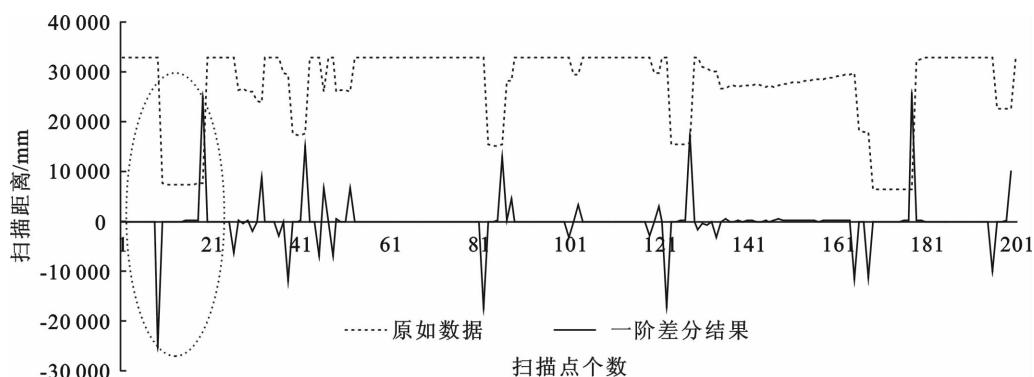


图 3 一阶差分与原始数据对比图

Fig. 3 Comparison of first difference and original data

对比图 3、图 2 可以看出,对应样地中立木位置,在原始数据曲线中出现一个极小值,如图 3 中点划线圆圈中部分所示,差分曲线中在原始数据极小值的对应位置左右有 2 个尖点,并且左边的尖点值小于 0,右边的尖点值大于 0,两点所夹部分

值近似为 0,进一步分析可知,符合这 2 个条件的尖点位置即是目标立木数据边界。

通过以上分析,即可得到滤波处理的过程:

第一步过滤背景噪声数据。设定阈值 $gate$,将 $\Delta R_{(x)}$ 与 $gate$ 比较,滤除背景噪声数据并存储大于

gate 的数据点,得到差分曲线中尖点向量 F ;

第二步确定原始曲线立木数据边界点位置。将相邻尖点逐一进行对比,记录满足使 $\Delta R_{(i-1)} < 0$, $\Delta R_{(i)} > 0$ 同时成立的 i 值,并由 i 值逆求出立木数据边界点在原始曲线中的位置;

第三步判断第二步所得数据是否合理。因立木直径有限,由一株立木所得扫描点个数有限,可据此验证第二步所得数据。

这样只要给出合适的阈值、有效数据点个数,理论上就可把目标立木从原始数据中过滤出来。

3 差分算法中关键参数的确定

a、平面内不共线的三点可唯一确定一个圆,若落在同一株立木上测量数据点少于 3 个就不能证明是目标立木,应当将其滤除,由此可得有效数据点个数下限 $N_{\min} = 3$ 。

b、由于扫描仪工作原理可知,落在同一株立木上的测量点的个数与立木到扫描仪的距离和立木直径有关,如图 4 所示,设 R 为立木半径, d 为扫描仪到立木中心距离, θ 为恰好为从扫描点出发与立木相切的 2 条射线的夹角的 $1/2$ 。根据三角定理可得

$$\sin \theta = R/d \quad (3)$$

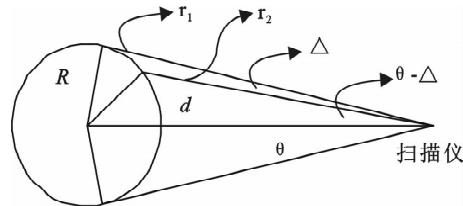


图 4 扫描仪与立木关系

Fig. 4 Relationship between standing and scanner

由此可得

$$\theta = \arcsin \left(\frac{R}{d} \right) \quad (4)$$

设 Δ 为扫描仪的最小分辨角,则投射到该立木上的有效数据点个数 N 可由下式计算:

$$N = \frac{2\theta}{\Delta} = \frac{2\arcsin(R/d)}{\Delta} \quad (5)$$

由式(5)在 $\Delta=0.5$ 度时,以 $2R$ 为横轴, d 为纵轴绘制有效点个数的等值曲线(图 5)。由图 5 可知,在立木直径从 0 到 1 400 mm 的变化过程中,距离扫描仪大于 4 m 的立木被测得的有效点个数均小于 40 个。考虑到实际情况,可以把有效数据点的个数上限定为 $N_{\max} = 40$ 。

c、由于扫描仪在使用过程中会出现一定的随机扰动,并且在扫描到的同一株立木的数据点中,相邻两点到扫描仪的最大的距离差也是一个与树径和立木距扫描仪距离的函数,推导过程如下。

由勾股定理可得:

$$r_1 = \sqrt{d^2 - R^2} \quad (6)$$

由余弦定理可得:

$$\cos(\theta - \Delta) = \frac{r_2^2 + d^2 - R^2}{2r_2 d} \quad (7)$$

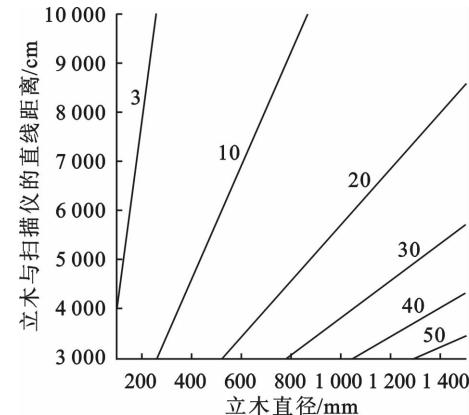


图 5 扫描点个数与 R 和 d 的关系

Fig. 5 Relationship between number of scanned points and R and d

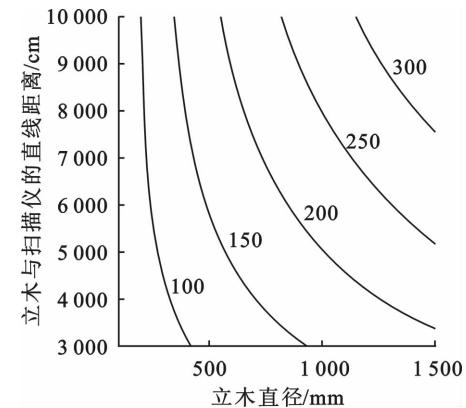


图 6 相邻点距离与 R 和 d 的关系

Fig. 6 Relationship between distance adjacent scanned points and R and d

整理可得

$$r_2^2 - 2dr_2 \cos(\theta - \Delta) + r_1^2 = 0 \quad (8)$$

解这个关于 r_2 的一元二次方程可得:

$$r_2 = d \cos(\theta - \Delta) - \sqrt{d^2 \cos^2(\theta - \Delta) - r_1^2} \quad (9)$$

上式中因为 $r_2 < r_1$, 所以取一而舍十。由此可得两点的距离差

$$dis = r_1 - r_2 \quad (10)$$

同样以立木直径为横坐标,立木与扫描仪的距离为纵坐标绘制同一株立木上相邻两点的最大距离的等值曲线。由图 6 可以看出,当立木直径小于 1 500 mm,距离扫描仪的距离小于 7 m 时,最大距离差为 300。考虑到测试样地中立木径级在 1 000 mm 以内,可给定阈值 $gate = 200$, 差分曲线中所有大于此阈值的点全部认为是随机波动而予以滤除。

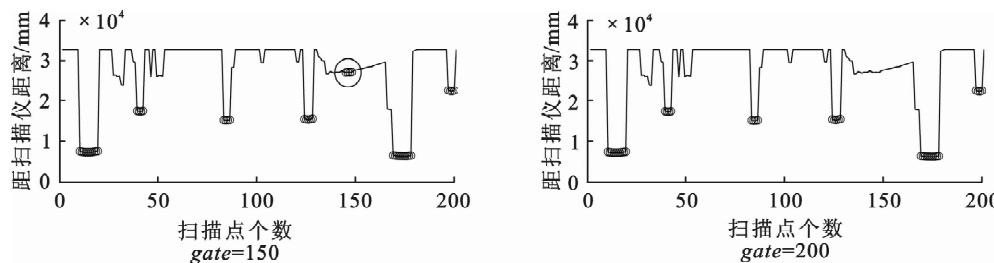


图 7 过滤后的数据

Fig. 7 Filtered data

4 结果与分析

基于上述推导,在 MATLAB 环境下对其编程,得到过滤后的数据并绘出点图(图 7)。

对比图 7(右)与图 1、图 2、图 3 可知,该种算法实现了将目标立木与背景干扰区分开的目的,识别率较高。为验证所选阈值的可靠性,将阈值调小到 $gate=150$,过滤后的图像如图 7(左)所示。可以看出,虽然改变阈值后也可得到目标立木的数据,但同时有一块没有过滤掉,如图 7(左)中圆圈所圈,从图 2 中可以看出这些数据是墙壁和一些灌木。以此对比证明,本文分析方法正确、可靠,采用 200 作为阈值能够有效把目标立木从扫描原始数据中过滤出来。

5 结论

使用差分法设计的二维点云数据滤波器能够有效地区分目标立木与干扰背景。

当被测林地的环境与试验样地相近时可以直接使用此研究成果,更复杂的环境下还需进一步的验证。

本次研究发现,在 32 m 的扫描范围、0.5 度的分辨率的条件下,设定有效点个数为 3~40 个,阈值为 200 (mm),可以达到把目标立木从原始信号数据中过滤出来的目的。

参考文献:

- [1] 董明晓, 郑康平. 一种点云数据噪声点的随机滤波处理方法 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(2): 245-248.
- [2] 郭仁生. 机械工程设计分析和 MATLAB 应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 罗伊萍, 姜挺, 龚志辉, 等. 基于自适应和多尺度数学形态学的点云数据滤波方法 [J]. 测绘科学技术学报, 2009, 26(6): 426-429.
- [4] 吕光辉, 王乃康, 魏占国, 等. 林木联合采伐机底盘的研究现状与发展趋势 [J]. 林业机械与木工设备, 2010, 38(10): 11-14.
- [5] LV G H, WANG N K, WEI Z G, et al. Research status and development trend of forest combined harvesters [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2010, 38(10): 11-14. (in Chinese)
- [6] 刘峰, 杨志高. 基于对象的激光点云数据城区树木识别方法 [J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(7): 73-77.
- [7] LIU F, YANG Z G. Identification of urban vegetation with laser point cloud data based on object [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30(7): 73-77. (in Chinese)
- [8] 沙莎, 刘锦峰. 基于差分有序数组的图像匹配快速算法 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(8-3): 296-297, 257.
- [9] SHA S, LIU J F. Fast image matching algorithm based on differential ordinal array [J]. Microcomputer Information, 2007, 23(8-3): 296-297, 257. (in Chinese)
- [10] 魏占国, 刘晋浩. 轮式林木联合采伐机底盘的设计与研究 [J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2010, 35(2): 263-268.
- [11] WEI Z G, LIU J H. Design of the chassis for a wheeled forest combined harvester [J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2010, 35(2): 263-268. (in Chinese)
- [12] 杨必胜, 魏征, 李清泉, 等. 面向车载激光扫描点云快速分类的点云特征图像生成方法 [J]. 测绘学报, 2010, 39(5): 540-545.
- [13] YANG B S, WEI Z, LI Q Q, et al. A classification-oriented method of feature image generation for vehicle-borne laser scanning point clouds [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(5): 540-545. (in Chinese)
- [14] 张熠斌. 机载 LiDAR 点云数据处理理论及技术研究 [D]: 西安: 长安大学, 2010.
- [15] 王典, 刘晋浩, 王建利. 基于系统聚类的林地内采育目标识别与分类 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 173-177.
- [16] WANG D, LIU J H, WANG J L. Identification and classification of scanned target in forest based on hierarchical cluster [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(12): 173-177. (in Chinese)
- [17] 吴富桢. 测树学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 9-56.

(下转第 268 页)