

文章编号: 1007-4619 (2001) 02-0110-04

机载激光遥感成像的激光回波波形数字化技术

胡以华^{1,2}, 王建宇¹, 薛永祺¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 解放军电子工程学院, 安徽合肥 230037)

摘要: 首先介绍了机载激光遥感成像技术的基本原理, 讨论了其关键组成部分的地面目标激光回波波形数字化电路的设计及其组成特点, 叙述了该波形数字化电路的时序设计和数据存储结构, 最后讨论了波形数字化结果的数据预处理方法及相关问题, 得到了系统试验运行中获取的激光回波的有关预处理结果, 它们将作为进一步生成地面三维图像和目标分类的数据源。

关键词: 波形数字化; 机载遥感; 机载成像; 激光成像; 机载激光探测

中图分类号: TP701 **文献标识码:** A

1 引言

机载激光遥感成像技术是对地观测领域的一种主动式遥感技术, 直接以机载扫描激光探测获取地面的三维成像信息。随着激光器技术的日益进步, 它越来越受到人们的关注。目前有美国、法国、加拿大等国的多个研究机构开展了这方面的研究^[1,2], 它们以脉冲激光器作为辐射源, 利用机载激光的对地扫描直接探测得到一定分布的地面激光回波, 并对其实时数字化, 然后通过对回波的数据处理得到地面目标的三维成像信息, 最终输出其三维成像成果。可实现的激光直接成像的水平分辨率十厘米量级、角度分辨率毫弧度量级、遥感成像作业高度数百米, 成像速率有的达到 30 帧/s。但是, 在对地观测成像的应用方面, 除了需要其通常的成像信息外, 还需要明确对应地物的属性, 这是激光遥感对地观测走向实用所追求的目标。而对于利用激光回波研究地面目标的属性进行分类, 未见国外有这方面的详细报道。在中国有关基金的资助下, 本文作者以所在课题组在机载遥感成像方面的研究成果为依托, 开展了利用直接激光遥感成像获取地面的三维图形以及对目标作分类判别的研究, 本文就是这项研究的一个组成部分。

本文所述机载激光遥感成像技术的原理是, 以

目标回波的时延信息确定目标的距离; 利用激光回波信号的功率大小确定目标的后向散射率特征, 从而决定目标的灰度, 进而通过对一定分布的激光采样点信息(包含扫描参数、GPS、飞机姿态信息等)的综合处理就可以得到地面目标的灰度像; 基于典型目标的灰度、脉冲宽度、脉冲波形形状、脉冲幅度等信息, 参考实际对目标的观测结果, 建立一套目标特征与回波信号特征间的对应关系, 从而, 在实际应用中就可通过查表的方法直接由激光回波确定目标类别, 指出激光成像结果的目标类别或目标识别。显然, 达到上述目的的关键一步就是高保真地获取激光回波脉冲的数字化结果, 这是所有关于激光三维成像的数据处理的基础, 在此基础上的信息处理与分析将得到地面目标的三维成像与分类结果。

2 激光回波信号的波形数字化电路

在机载激光遥感中, 激光发射脉冲一般在纳秒量级, 由于复杂地物的作用, 激光回波的波形将展宽甚至变形, 输出的脉冲宽度一般为数十纳秒; 由于受到距离变化和环境变化的影响, 脉冲信号的能量起伏较大; 回波相对于主波的时延存在较大变化; 波形数字化信息获取的同时, 还需要同步获取其它信息; 波形数字化结果的数据量大, 对数据传送和存储的要求较高, 等等。因此, 用于机载激光遥感成像的波形

收稿日期: 2000-01-19; 修订日期: 2000-07-24

基金项目: 国家 863 计划(863-308-18-04)、国家自然科学基金(49981001); 中国博士后科学基金资助项目。

作者简介: 胡以华(1962—), 1997 年获中国科学院安徽光学精密机械研究所光学专业博士学位。近年来主要从事机载信息获取技术研究, 发表论文近 30 篇。

数字化电路有其独特的设计要求, 必须特别予以研究。

回波信号波形数字化电路的原理框图如图 1, 它主要由 4 部分构成: 采样时钟产生电路、高速 A/D、高速数据 RAM、采样波门产生电路, 已经设计成计算机总线支持的数据采集卡。对激光回波信号的采样, 以激光触发周期作为它的工作周期, 目前基本为千赫兹量级。由于数据采样结果需要存贮在计算机硬盘中, 因而与模数转换同步(例如 200MHz)实时存储是不可能的, 只能在一个激光探测周期内成批存贮。正好, 在脉冲激光探测中, 只需要获得回波信号周围的部分结果, 这些结果可以首先实时地缓存存在高速 RAM 中, 然后, 在一个周期中余下的较长时间内, 将高速 RAM 中的数据转移并存贮在硬盘中。这里的高速 RAM 的存储时间达到 4ns。

激光主波信号经过“主波探测与隔离电路”之后的一路送到“采样波门产生电路”, 该信号送给 A/D 卡, 作为波形采样的记录波门。在一个实际测量过程中, 波门应该覆盖可能出现的所有目标回波, 在波门的有效期内, A/D 的输出数据放入高速 RAM 中, 并在波门结束之后存到计算机中。波门的宽度和采样速率决定着单周期内的采样点数。

采样波门的前沿受到激光主波脉冲的控制, 它相对于激光主波脉冲的时延可以人为设定为固定值, 一般对应一次机载作业中所有可能目标的最短距离, 以保证所有目标回波均在波门前沿之后出现。采样波门宽度的设置, 当然是越宽越好, 但它主要受到数据传送、存贮速度和硬盘存贮容量的限制。但无论如何一定要保证所有的回波信号能够全部被采集到。在飞行高度不超过 2000m 时, 如果所应用区域的目标距离起伏一般不超过 500m, 那以, 在 240MHz 的 A/D 变换情况下, 一个激光脉冲周期内

需要采样 800 个点。若激光重复率为 4kHz 左右, 数据传送并存储速度相当于 3.2MB/s 左右。基于奔腾 586 以上计算机和相应的加速存储硬盘, 如此速度的数据采集完全可以实现。此时, 1h 的采集数据容量接近 12GBytes, 这也是比较现实的。在原理试验中, 机载扫描速度是 20 线/s, 每线 62 个点, 认为目标起伏不超过 200m, 则一个周期内采样 350 点左右, 数据率为 434kB/s, 1h 的数据量接近 1.6GBytes。

3 回波波形数字化控制时序与数据存储结构

在机载激光遥感成像技术中, 除了要获取激光回波波形数字化信息外, 还要获取飞机的位置信息、飞机的姿态数据等等, 同时, 在初期试验时, 还需要其它手段获取地面目标的参考图像信息, 供建立关系模型时参考。也就是说, 在获取激光回波信号数字化信息的同时, 要一同采集其它数据信息。作为生成地面三维图像和目标辨识的基本要求, 所有这些数据必须达到地面采样点级的匹配。所以, 在数据采集时, 它们必须严格同步在一组控制时序之下, 这组同步控制时序就是扫描行同步脉冲以及由它产生的激光触发脉冲等信号。图 2 给出了它的主要时序关系。

将扫描行同步脉冲来触发一事件计数器, 计数结果作为波形数字化的粗同步信息。将扫描行内的激光触发脉冲锁存时间计数器计数结果, 其读出的时间(分辨率可以远小于激光触发周期)作为其细同步信息。这两个信息记录在对应周期内回波波形数据的前面, 给回波数字化结果定位, 以便于数据后处理与其它数据匹配。每一个激光周期内的波形数字化数据存储结构如图 3。

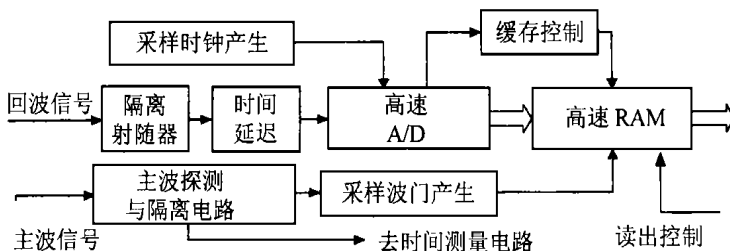


图 1 回波信号波形数字化电路原理框图

Fig. 1 Block diagram of waveform digitizing circuit of laser return

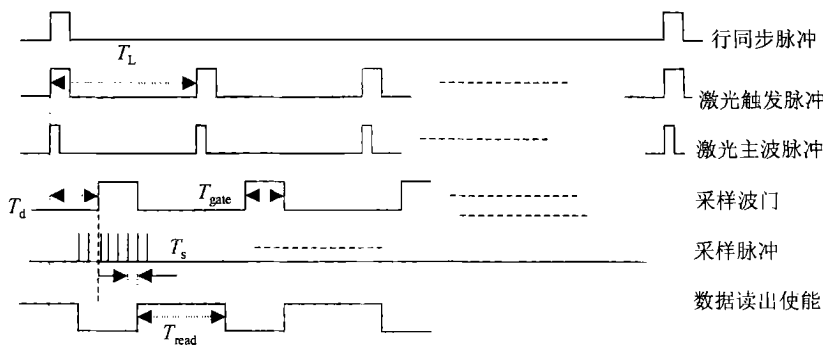


图 2 波形数字化主要时序关系

Fig. 2 The sequence of main controlling signals for waveform digitization

T_L ——激光触发周期, T_d ——采样波门相对激光主波的时延, T_g ——采样脉冲周期,
 T_{gate} ——采样波门宽度, T_{read} ——数据读出使能的持续时间

时间计数结果 (3 个字 节) 细 同步	事件计数结果 (3 个字 节) 粗 同步	波形数字 化 (第 1 个 字节)	波形数字 化 (最后 1 个字节)
-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------

图 3 波形数字化数据存储结构

Fig. 3 Database of waveform digitization

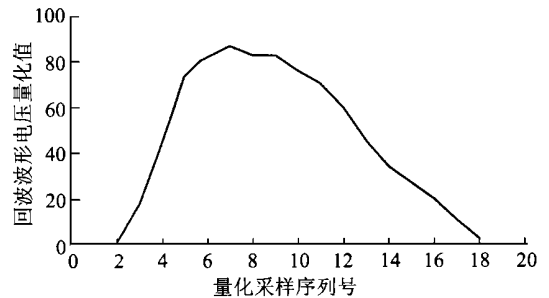


图 4 激光回波脉冲波形的数字化结果

Fig. 4 The digitized waveform of a laser return pulse

4 数字化信息的预处理

为了提供较为成熟的激光回波波形数字化信息,也为了便于后处理时对信息的正确、充分、方便地使用,需要对数字化结果作预处理,提供不同种类与特征的数据文件。数据预处理工作包括:

(1) 对量化数据的滤波处理。由于波形数字化过程时噪声和干扰的存在,数据中难免存在着不属于激光回波脉冲的杂散数据,所以首先需要通过滤波(比如中值滤波等)及相关处理作数据提纯。

图 4 给出的是经过滤波处理的激光回波脉冲波形的数字化结果中抽取的一个例子。其横轴表示数字化顺序采样点数(采样率为 240MHz),纵轴表示电压量化结果,是个相对值(127 对应回波电压 0.6V)。本例所对应的激光发射脉冲是 7ns,而回波脉冲的前沿约 10ns,后沿约有 30ns,后沿被明显拉长,几乎所有的回波都有这一特征。据分析,在仅仅考虑激光对地面的倾斜照射时,激光回波仍然是钟型脉冲^[3]。所以,可以判定,上述的后沿被拉长现象主要是由于复杂目标,比如树木、植被、山石等带来的影响^[4]。当然,这一现象也会由探测器电路的延迟引起,但它的影响是基本恒定的。依据此现象,可以研究目标

特性。

(2) 计算目标回波的峰值 V_m 及其所在的采样点位置序列号 L_m 。

(3) 计算等效脉冲宽度。在 L_m 两侧,分别计算幅度等于 $0.707V_m$ 的点到峰值处的间隔点数 n_1, n_2 ,它们的和再乘以波形数字化间隔 T_s 即近似等于回波脉冲宽度 $\tau \approx T_s(n_1 + n_2)$ 。

(4) 计算回波时延。选择比峰值小一定比例的电压(比如 $0.5V_m$) 作为浮动门限,计算该点相距采样波门前沿的采样点数目 k ,它乘以波形数字化间隔 T_s ,再加上采样波门相对主波脉冲的时延 T_d ,就等于激光回波相对主波的时延 $T_r = T_d + kT_s + T_e$ 。有关时间参数参见图 2,其中 $T_e \in (0, T_s)$ 是波门内第一个采样脉冲与波门前沿间的时间差。此方法还克服了固定门限比较时的“距离行走”现象带来的时延估计误差^[3]。

(5) 计算回波功率和后向散射率。激光回波的功率,反映着沿一定角度观察时的目标在该波长的后向散射率的大小。

经过上述预处理之后, 其结果将产生以激光触发周期为变量的多种数据文件, 包括滤波后的回波脉冲波形、回波时延分布、回波功率分布、地面目标后向散射率分布、回波脉冲宽度分布、回波幅度分布等, 它们将作为生成地面三维图像的数据源。图5就是相对回波功率分布的一个例子, 横轴表示穿轨方向的采样点数, 纵轴表示航线方向。

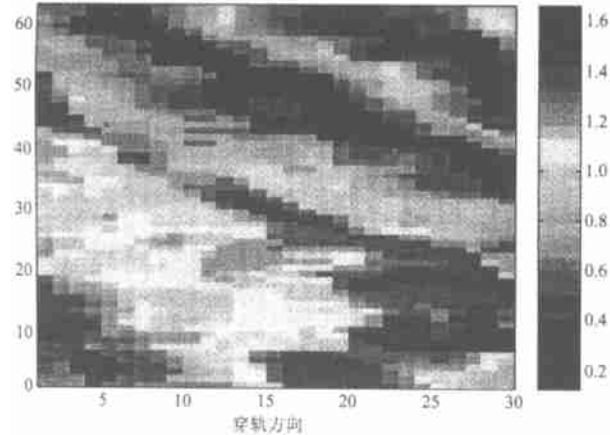


图5 相对回波功率的平面分布图

Fig. 5 The relative return power distributing in certain area

5 结论与讨论

激光回波波形数字化是机载激光遥感成像的基础, 波形数字化电路的性能决定着机械激光直接三

维成像与分类的水平。目前已经进行了原理试验, 并取得了一批数据预处理结果, 明显看到了直接利用机载激光探测获取地面目标三维图像和目标分类的技术前景。在对预处理结果作进一步的数据处理之后, 可以生成地面目标三维透视图、地面目标灰度像等。在此基础上, 结合对回波脉冲波形形状等的深入分析, 通过与其它手段获得参考图像的比较, 可以建立地面目标类别和特性与回波特性间的关系, 从而为直接利用扫描激光回波生成地面目标的三维图像, 并进行目标辨识作基础准备。

参考文献 (References)

- [1] Robert F Dillon. Low-cost Laser Radar Imaging Experiments [J]. *SPIE Proc. Laser Radar VII*, 1992, **1633**: 274—280.
- [2] Froehlich Christoph *et al.* Active laser radar (lidar) for measurement of corresponding height and reflectance images [J]. *SPIE Proc.* 1997, **3101**: 292—305.
- [3] HU Yihua *et al.* Analysis of the characteristics of return pulses in airborne laser beam scanning [J]. *Applied Laser*, 1997, **17**(3): 109—111. [胡以华等. 机载激光光束扫描时回波脉冲特征分析. *应用激光*, 1997, **17**(3): 109—111.]
- [4] Mats Nilsson. Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using an Airborne Lidar System [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, **56**: 1—7.
- [5] HU Yihua, SHAO Hui, XUE Yongqi. A Study on the Precision of the Geo-referenced Image Acquired by Remote Sensing [A]. *Proc. of SPIE [C]*. 1998, **3505**: 144—150.

The Waveform Digitization of Laser Return in Airborne Laser Remote Sensing Imaging

HU Yi hua^{1, 2}, WANG Jian yu¹, XUE Yong qi¹

(1. *Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;*

2. Electronic Engineering Institute, Hefei, 230037, China)

Abstract: The fundamentals of airborne laser remote sensing imaging technology is introduced first in this paper. As a key part of the technology, the waveform digitizing circuit for acquiring laser return of ground targets is designed and its features are discussed. Then how to control digitizing and how to store digitized data are described. Finally some problems about pre processing of digitized data are discussed and some typical results are given. The pre processed results will be used as data sources to directly produce 3-D image and to sort ground objects.

Key words: waveform digitization; airborne remote sensing; airborne imaging; laser imaging; airborne laser sound-ing