



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103744087 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 02

(21) 申请号 201410011887. 4

JP 特开 2004-219207 A, 2004. 08. 05,

(22) 申请日 2014. 01. 11

CN 201503495 U, 2010. 06. 09,

(73) 专利权人 桂林理工大学

审查员 王海峰

地址 541004 广西壮族自治区桂林市建干路
12 号

(72) 发明人 周国清 周祥 张飙 马建军
卫斌

(51) Int. Cl.

G01S 17/02(2006. 01)

G01S 17/42(2006. 01)

G01S 7/481(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 103412313 A, 2013. 11. 27,

CN 102323596 A, 2012. 01. 18,

JP 特开 2001-215275 A, 2001. 08. 10,

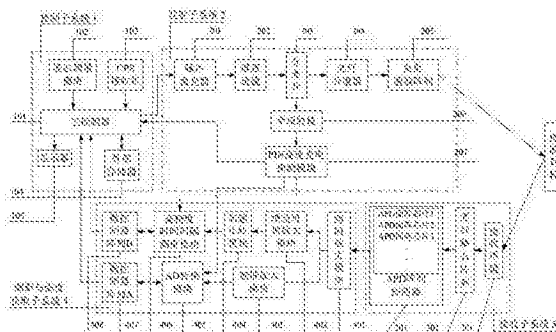
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

一种脉冲式 N×N 阵列激光雷达系统

(57) 摘要

本发明公开了一种脉冲式 N×N 阵列激光雷达系统。包括主控制器、姿态测量模块、GPS 接收机、外部存储器、显示器、脉冲激光器、准直透镜、分光片、光纤分束器、发射透镜阵列、全反射镜、PIN 高速光电探测模块、接收透镜、光纤耦合阵列、雪崩光电二极管即 APD 阵列探测器、跨阻放大模块、增益可调放大模块、高速比较模块、高精度时间间隔测量模块、宽带放大模块、模拟数字即 AD 转换模块、微控制器阵列 A 和微控制器阵列 B。本发明脉冲激光点阵照明目标, 发射功率利用充分; 瞬间同步获取距离、强度信息; 多个 APD 面阵芯片构成 APD 阵列探测器提高了分辨率; 无扫描装置显著降低光学设计复杂度; 使用光纤耦合阵列有效减少视场外环境光、杂散光进入 APD 阵列探测器。



1. 一种脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统,其特征在于脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统包括:控制子系统(1)、发射子系统(2)、接收子系统(3)和测距与强度获取子系统(4);控制子系统(1)包括:主控制器(101)、姿态测量模块(102)、全球定位系统即GPS接收机(103)、外部存储器(104)和显示器(105);发射子系统(2)包括:脉冲激光器(201)、准直透镜(202)、分光片(203)、光纤分束器(204)、发射透镜阵列(205)、全反射镜(206)和P-I-N结构二极管即PIN高速光电探测模块(207);接收子系统(3)包括:接收透镜(301)、光纤耦合阵列(302)和雪崩光电二极管即APD阵列探测器(303);测距与强度获取子系统(4)包括:跨阻放大模块(401)、增益可调放大模块(402)、宽带放大模块(403)、高速比较模块(404)、模拟数字即AD转换模块(405)、高精度时间间隔测量模块(406)、微控制器阵列A(407)和微控制器阵列B(408);

主控制器(101)分别与姿态测量模块(102)、GPS接收机(103)、显示器(105)、外部存储器(104)、脉冲激光器(201)、PIN高速光电探测模块(207)、微控制器阵列A(407)和微控制器阵列B(408)相连;脉冲激光器(201)发出的激光先经过准直透镜(202),然后通过分光片(203)分为反射和透射两路激光,占小部分的反射激光通过全反镜(206)进入PIN高速光电探测模块(207),占大部分的透射激光经光纤分束器(204)进入发射透镜阵列(205)照射目标,PIN高速光电探测模块(207)输出的信号分成三路分别输入主控制器(101)、高精度时间间隔测量模块(406)和AD转换模块(405);目标反射回来的激光经接收透镜(301)聚焦进入光纤耦合阵列(302),光纤耦合阵列(302)分组输出多束激光信号耦合到APD阵列探测器(303)的各个光敏面单元上;APD阵列探测器(303)输出的信号进入跨阻放大模块(401),跨阻放大模块(401)输出的信号同时进入增益可调放大模块(402)和宽带放大模块(403);增益可调放大模块(402)输出的信号进入高速比较模块(404),高速比较模块(404)输出的信号进入高精度时间间隔测量模块(406),高精度时间间隔测量模块(406)由微控制器阵列B(408)控制,宽带放大模块(403)输出到AD转换模块(405),AD转换模块(405)由微控制器阵列A(407)实现控制;

主控制器(101),是本系统的控制核心;其主要工作有:读取GPS接收机(103)测得的位置信息;控制姿态测量模块(102)工作并读取其测出的姿态信息;触发脉冲激光器(201)定时发射脉冲激光;以中断方式接收微控制器阵列A(407)和微控制器阵列B(408)发送的强度、距离测量数据,并存储到外部存储器(104)中或通过显示器(105)进行显示;

脉冲激光器(201),用于发射脉冲激光,发射的脉冲激光进入准直透镜(202);

准直透镜(202),用于将所述的脉冲激光器(201)发出的脉冲激光进行准直;

分光片(203),用于将准直透镜(202)准直后的激光分为比例悬殊的透射和反射两部分,占大部分的透射激光进入光纤分束器(204),占小部分的反射激光进入全反射镜(206);

光纤分束器(204),用于将分光片透射的脉冲激光均匀分为 $N \times N$ 束激光,再输出到发射透镜阵列(205);

发射透镜阵列(205),用于将光纤分束器(204)分出的 $N \times N$ 束激光准直后发射对目标实施 $N \times N$ 点阵照明;

全反射镜(206),分光片(203)分出的反射激光投射到全反射镜(206),全反射镜(206)将投射的激光进行全反射使其进入PIN高速光电探测模块(207);

PIN 高速光电探测模块(207),接收到全反射镜(206)反射的激光后进行光电转换并处理后输出数字信号,该数字信号同时进入高精度时间间隔测量模块(406)、AD 转换模块(405)和主控制器(101),成为启动测距与强度获取子系统(4)工作的开始信号并表明激光发射时刻;

接收透镜(301),接收被发射透镜阵列(205)发射的 $N \times N$ 束激光点阵照明的目标所散射的多束激光回波,并将接收到的多束激光回波分别聚焦进入光纤耦合阵列(302);

光纤耦合阵列(302),将接收透镜(301)聚焦输入的 $N \times N$ 束激光回波由多组光纤束输出到 APD 阵列探测器(303),每组光纤束包含 $K \times K$ 束光纤;

APD 阵列探测器(303),由多个 $K \times K$ APD 面阵模块构成;每组 $K \times K$ 束光纤输出端分别耦合到一个 APD 面阵模块的 $K \times K$ 个 APD 光敏面单元上,从而使光纤耦合阵列(302)的 $N \times N$ 束光纤输出端一一对应地耦合到 APD 阵列探测器(303)的 $N \times N$ 个光敏面单元上;APD 阵列探测器(303)把光纤耦合阵列(302)输入的多束激光回波信号进行光电转换后并行输出最多达 $N \times N$ 路微弱电流信号到跨阻放大模块(401);

跨阻放大模块(401),用于将 APD 阵列探测器(303)输出的 $N \times N$ 路微弱电流信号转换为 $N \times N$ 路电压信号,然后同时送入增益可调放大模块(402)和宽带放大模块(403);

宽带放大模块(403),用于将跨阻放大模块(401)转换输出的 $N \times N$ 路电压信号进行多路并行放大,输出放大后的 $N \times N$ 路电压信号进入 AD 转换模块(405);

AD 转换模块(405),用于将宽带放大模块(403)放大后的 $N \times N$ 路电压信号进行 AD 转换,输出代表强度信息的 $N \times N$ 路数字信号,这些转换得到的数字信号由微控制器阵列 A(407)读取,AD 转换的启动信号来自所述的 PIN 高速光电探测模块(207);

微控制器阵列 A(407),用于控制 AD 转换模块(405)执行模数转换,并将转换得到的代表强度信息的数字信号暂存到其内存中,然后上传到主控制器(101);

增益可调放大模块(402),用于将跨阻放大模块(401)输出的 $N \times N$ 路电压信号进行可调增益的并行放大,并将放大后的 $N \times N$ 路电压信号输入高速比较模块(404);

高速比较模块(404),将增益可调放大模块(402)输出的 $N \times N$ 路电压信号与参考电平比较,输出 $N \times N$ 个数字信号作为 $N \times N$ 路停止信号输入到高精度时间间隔测量模块(406);

高精度时间间隔测量模块(406),用于测量从收到 PIN 高速光电探测模块(207)输出的开始信号至收到高速比较模块(404)输出的 $N \times N$ 路停止信号的时间间隔,测量后最多并行输出 $N \times N$ 个时间间隔测量数据,该数据由微控制器阵列 B(408)读取;

微控制器阵列 B(408),用于配置、控制所述的高精度时间间隔测量模块(406)执行测量,并读取代表 $N \times N$ 个目标测量点距离信息的 $N \times N$ 个时间间隔测量值,再将测量值暂存到内存中,然后上传到主控制器(101);

GPS 接收机(103),通过异步串行口与主控制器(101)相连,用于提供 PPS 即秒脉冲信号作为本系统的启动信号以及获取本系统的经纬度、高程和 UTC 即协调世界时时间信息;

姿态测量模块(102),通过异步串行口与主控制器(101)相连,用于获取本系统的航向角、俯仰角和侧滚角信息;

外部存储器(104),通过 SPI 即串行外设接口与主控制器(101)相连,用于存储主控制器(101)接收到的来自微控制器阵列 A(407)和微控制器阵列 B(408)的距离测量数据和强度测量数据,以及 GPS 接收机(103)和姿态测量模块(102)获取的信息,以及时间同步信

息；

显示器 (105), 通过 16 位并行总线与主控制器 (101) 相连, 对探测到的目标进行含灰度或伪彩色信息的三维可视化, 并显示相关的控制、状态信息；

所述 $N \times N$, 其中 $N \geq 10$, 所述 $K \times K$, 其中 $K \geq 5$, 并且 $K < N$ 。

一种脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统

技术领域

[0001] 本发明涉及主动光学航空遥感载荷领域的激光雷达技术,特别是一种脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统。

背景技术

[0002] 激光雷达测量是一种已迅速发展成为热点的主动光学遥感技术,为获取空间三维数据提供了重要手段,单点扫描激光雷达已发展成为商业化的产品,其主要缺点在于:对激光器重复频率要求高,需要扫描装置,光学系统设计复杂,功耗大,成像速度低。

[0003] 90年代后发达国家开始研发面阵激光雷达,探测器主要采用 ICCD(增强型电荷耦合器件)和 APD(雪崩光电二极管)两种类型。国内由于光电探测材料和工艺水平等支撑基础比较薄弱,因此在面阵激光雷达技术领域的研究还处于起步阶段,进展缓慢。

[0004] ICCD 面阵探测器是基于获取高分辨率二维图像目的而研制的,申请号为 200910071450.9 的发明和《光电工程》期刊 2013 年 2 月第 40 卷第 2 期“基于面阵探测器的凝视成像激光雷达”,都公开了 ICCD 面阵探测器进行无扫描三维成像的研究,其缺点在于:必须采用复杂的调制解调方式通过多幅强度图像融合才能间接得到一幅距离图像,精度不高,运算量大,无法瞬间获取目标距离信息,且只限于至多几百米的近距离探测,还要求很大的激光发射功率。

[0005] 基于 APD 探测器的面阵激光雷达研究方面,一种方式是采用分立的单点 APD 组合成面阵进行探测,另一种方式则采用 APD 面阵芯片进行探测。长春理工大学博士论文“激光雷达模拟样机系统与实验研究”中设计了 2×2 APD 阵列接收模块,由 4 个透镜分别接收激光回波信号,然后分别耦合进 4 根光纤,光纤输出分别进入 4 个独立的 APD 单元,然后进行光电转换、测距等处理。这种结构由 1 个接收透镜,1 根光纤和 1 个 APD 构成 2×2 APD 阵列接收系统的一个接收单元,当要求阵列像素较多时,必然造成体积庞大,加工、调试困难,一致性差等诸多问题。申请号为 201310323433.6 的发明公开了一种低空轻小型面阵激光雷达测量系统,采用了一片 APD 面阵芯片,探测器的分辨率不高,而且没有获取强度信息,但该系统主要适用于载荷空间、重量受限的低空轻小型遥感平台工作。浙江大学博士论文“基于达曼光栅的点阵照明成像激光雷达系统的研究”为了降低激光发射功率采用达曼光栅实现对激光分束后对目标实施点阵照明,其缺点在于达曼光栅价格昂贵。

[0006] 总之,现有技术的缺陷主要体现在:ICCD 系统需要很大的激光发射功率对目标实施泛光照明,探测距离小,不能瞬间获取距离信息,处理电路和算法复杂,体积、重量较大,不适合高速、高精度机载三维成像应用场合。点扫描 APD 探测器对激光器重复频率要求高,需要扫描装置,光学系统设计难度大。采用单点 APD 组合的 APD 面阵均采用分立元件,若用其构成更高分辨率的 APD 阵列,必然出现体积庞大,加工、调试困难,一致性差等诸多问题。采用一片 APD 面阵芯片的测量系统,分辨率偏低,不适合分辨率要求较高的应用场合。采用达曼光栅对发射激光均匀分束,虽然可以减小激光发射功率,但达曼光栅价格昂贵。此外,上述激光雷达系统都没有同步采集激光散射回波强度信息和距离信息。

发明内容

[0007] 本发明的目的是为了解决上述激光雷达系统存在的问题,提供一种采用脉冲激光点阵照明目标,多个 APD 面阵芯片构成 APD 阵列探测器接收激光回波,具有激光发射功率利用充分,瞬间同步获取距离和强度信息,光学系统复杂度低,分辨率高等特点的脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统。

[0008] 本发明是这样实现的:一种脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统包括控制子系统、发射子系统、接收子系统和测距与强度获取子系统。控制子系统包括:主控制器、姿态测量模块、GPS (全球定位系统) 接收机、外部存储器和显示器。发射子系统包括:脉冲激光器、准直透镜、分光片、光纤分束器、发射透镜阵列、全反射镜和 PIN (P-I-N 结构二极管) 高速光电探测模块。接收子系统包括:接收透镜、光纤耦合阵列和 APD 阵列探测器。测距与强度获取子系统包括:跨阻放大模块、增益可调放大模块、宽带放大模块、高速比较模块、AD (模拟数字) 转换模块、高精度时间间隔测量模块、微控制器阵列 A 和微控制器阵列 B。

[0009] 主控制器分别与姿态测量模块、GPS 接收机、显示器、外部存储器、脉冲激光器、PIN 高速光电探测模块、微控制器阵列 A 和微控制器阵列 B 相连。脉冲激光器发出的激光先经过准直透镜然后通过分光片分为反射和透射两路激光,占小部分的反射激光通过全反镜进入 PIN 高速光电探测模块,占大部分的透射激光经光纤分束器进入发射透镜阵列照射目标,PIN 高速光电探测模块输出的信号分成三路分别输入主控制器、高精度时间间隔测量模块和 AD 转换模块;目标反射回来的激光经接收透镜聚焦进入光纤耦合阵列,光纤耦合阵列分组输出多束激光信号耦合到 APD 阵列探测器的各个光敏面单元上;APD 阵列探测器输出的信号进入跨阻放大模块,跨阻放大模块输出的信号同时进入增益可调放大模块和宽带放大模块;增益可调放大模块输出的信号进入高速比较模块,高速比较模块输出的信号进入高精度时间间隔测量模块,高精度时间间隔测量模块由微控制器阵列 B 控制,宽带放大模块输出到 AD 转换模块,AD 转换模块由微控制器阵列 A 实现控制。

[0010] 主控制器是本激光雷达系统的控制核心。其主要工作有:读取 GPS 接收机测得的位置信息;控制姿态测量模块工作并读取其测出的姿态信息;触发脉冲激光器定时发射脉冲激光;以中断方式接收微控制器阵列 A 和微控制器阵列 B 发送的强度、距离测量数据,并存储到外部存储器中或通过显示器进行显示。

[0011] 脉冲激光器,用于发射脉冲激光,发射的脉冲激光进入准直透镜。

[0012] 准直透镜,用于将脉冲激光器发出的脉冲激光进行准直。

[0013] 分光片,用于将准直透镜准直后的激光分为比例悬殊的透射和反射两部分,占大部分的透射激光进入光纤分束器,占小部分的反射激光进入全反射镜。

[0014] 光纤分束器,用于将分光片透射的脉冲激光均匀分为 $N \times N$ 束激光,再输出到发射透镜阵列。

[0015] 发射透镜阵列,用于将所述光纤分束器分出的 $N \times N$ 束激光准直后发射对目标实施 $N \times N$ 点阵照明。

[0016] 全反射镜,分光片分出的反射激光投射到全反射镜,全反射镜将投射的激光进行全反射使其进入 PIN 高速光电探测模块。

[0017] PIN 高速光电探测模块,接收到全反射镜反射的激光后进行光电转换并处理后输

出数字信号,该数字信号同时进入高精度时间间隔测量模块、AD 转换模块和主控制器,成为启动测距与强度获取子系统工作的开始信号并表明激光发射时刻;

[0018] 接收透镜,接收被发射透镜阵列发射的 $N \times N$ 束激光点阵照明的目标所散射的多束激光回波,并将接收到的多束激光回波分别聚焦进入光纤耦合阵列。

[0019] 光纤耦合阵列,将接收透镜聚焦输入的多束(最多 $N \times N$ 束)激光回波由多组光纤束输出到 APD 阵列探测器,每组光纤束包含 $K \times K$ 束光纤。

[0020] APD 阵列探测器,由多个 $K \times K$ APD 面阵芯片构成。每组 $K \times K$ 束光纤输出端分别耦合到一个 APD 面阵芯片的 $K \times K$ 个 APD 光敏面单元上,从而使光纤耦合阵列的 $N \times N$ 束光纤输出端一一对应地耦合到 APD 阵列探测器的 $N \times N$ 个光敏面单元上。APD 阵列探测器把光纤耦合阵列输入的多束(最多 $N \times N$ 束)激光回波信号进行光电转换后并行输出最多达 $N \times N$ 路微弱电流信号到跨阻放大模块。

[0021] 跨阻放大模块,用于将 APD 阵列探测器输出的 $N \times N$ 路微弱电流信号转换为 $N \times N$ 路电压信号,然后同时送入增益可调放大模块和宽带放大模块。

[0022] 宽带放大模块,用于将跨阻放大模块转换输出的 $N \times N$ 路电压信号进行多路并行放大,输出放大后的 $N \times N$ 路电压信号进入 AD 转换模块。

[0023] AD 转换模块,用于将所述的宽带放大模块放大后的 $N \times N$ 路电压信号同时进行 AD 转换,输出代表 $N \times N$ 个目标测量点强度信息的 $N \times N$ 路数字信号,这些转换得到的数字信号由微控制器阵列 A 读取,AD 转换的启动信号来自所述的 PIN 高速光电探测模块。

[0024] 微控制器阵列 A,用于控制所述的 AD 转换模块执行模数转换,并将转换得到的代表强度信息的数字信号暂存到其内存中,然后上传到主控制器。

[0025] 增益可调放大模块,用于将跨阻放大模块输出的 $N \times N$ 路电压信号进行可调增益的并行放大,并将放大后的 $N \times N$ 路电压信号输入高速比较模块。

[0026] 高速比较模块,将增益可调放大模块输出的 $N \times N$ 路电压信号与参考电平比较,输出 $N \times N$ 个数字信号作为 $N \times N$ 路停止信号输入到高精度时间间隔测量模块。

[0027] 高精度时间间隔测量模块,用于测量从收到 PIN 高速光电探测模块输出的开始信号至收到高速比较模块输出的 $N \times N$ 路停止信号的时间间隔,测量后最多并行输出 $N \times N$ 个时间间隔测量数据,该数据由微控制器阵列 B 读取。

[0028] 微控制器阵列 B,用于配置、控制高精度时间间隔测量模块执行测量,并读取代表 $N \times N$ 个目标测量点距离信息的 $N \times N$ 个时间间隔测量值,再将测量值暂存到内存中,然后上传到主控制器。

[0029] GPS 接收机,通过异步串行口与主控制器相连,用于提供 PPS (秒脉冲)信号作为本激光雷达系统的启动信号以及获取本激光雷达系统的经纬度、高程和 UTC (协调世界时)时间信息。

[0030] 姿态测量模块,通过异步串行口与主控制器相连,用于获取本激光雷达系统的航向角、俯仰角和侧滚角信息;

[0031] 外部存储器,通过 SPI (串行外设接口)与主控制器相连,用于存储主控制器接收到的来自微控制器阵列 A 和微控制器阵列 B 的强度测量数据和距离测量数据,以及 GPS 接收机和姿态测量模块获取的信息和时间同步信息。

[0032] 显示器,通过 16 位并行总线与主控制器相连,对探测到的目标进行含灰度或伪彩

色信息的三维可视化,并显示相关的控制、状态信息。

[0033] 所述 $N \times N$, 其中 $N \geq 10$, 所述 $K \times K$, 其中 $K \geq 5$, 并且 $K < N$ 。

[0034] 本发明的优点在于:

[0035] 1) 发射的脉冲激光经光纤分束器均匀分为 $N \times N$ 束后经发射透镜阵列对目标实施点阵照明, 可实现把泛光照明的整体能量集中到有限的 $N \times N$ 点阵上, 使发射激光能量能够更加集中、有效地利用, 相比同等发射功率下的泛光照明其探测距离提高 20%。

[0036] 2) 采用多个 $K \times K$ APD 面阵芯片构成 $N \times N$ APD 阵列探测器, 提高了探测分辨率, 对激光器重复频率要求低, 无需扫描装置, 降低了光学系统设计复杂度, 简化了电路处理系统结构, 提高了整机工作的可靠性和稳定性。

[0037] 3) 被脉冲激光点阵照明的目标所产生的激光散射回波信号由接收透镜聚焦后, 再经光纤耦合阵列输入到 APD 阵列探测器的 $N \times N$ 个 APD 光敏面单元上, 有效减少了视场外环境光、杂散光进入 APD 阵列探测器。

[0038] 4) 实现了单脉冲激光发射瞬间同步获取 $N \times N$ 通道的距离信息和强度信息。

[0039] 5) 采用增益可调放大模块解决了因探测距离不同引起的激光回波脉冲时间游走问题, 采用多通道高精度计时技术对 $N \times N$ 通道时间间隔并行精确测量, 实现了距离测量误差 $\leq 0.1\text{m}$ 。

附图说明

[0040] 图 1 为本发明的一种脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统结构示意图。

[0041] 图中标记: 1- 控制子系统; 101- 主控制器; 102- 姿态测量模块; 103- GPS 接收机; 104- 外部存储器; 105- 显示器;

[0042] 2- 发射子系统; 201- 脉冲激光器; 202- 准直透镜; 203- 分光片; 204- 光纤分束器; 205- 发射透镜阵列; 206- 全反射镜; 207- PIN 高速光电探测模块;

[0043] 3- 接收子系统; 301- 接收透镜; 302- 光纤耦合阵列; 303- APD 阵列探测器;

[0044] 4- 测距与强度获取子系统; 401- 跨阻放大模块; 402- 增益可调放大模块; 403- 宽带放大模块; 404- 高速比较模块; 405- AD 转换模块; 406- 高精度时间间隔测量模块; 407- 微控制器阵列 A; 408- 微控制器阵列 B。

[0045] 图 2 为本发明控制子系统工作流程图。

[0046] 图 3 为本发明发射子系统工作流程图。

[0047] 图 4 为本发明接收子系统工作流程图。

[0048] 图 5 为本发明测距与强度获取子系统工作流程图。

具体实施方式

[0049] 实施例:

[0050] 如图 1 所示, 本实施例的一种脉冲式 $N \times N$ 阵列激光雷达系统由控制子系统 1、发射子系统 2、接收子系统 3 和测距与强度获取子系统 4 构成。控制子系统 1 包括: 主控制器 101、姿态测量模块 102、GPS 接收机 103、外部存储器 104 和显示器 105。发射子系统 2 包括: 脉冲激光器 201、准直透镜 202、分光片 203、光纤分束器 204、发射透镜阵列 205、全反射镜 206 和 PIN 高速光电探测模块 207。接收子系统 3 包括: 接收透镜 301、光纤耦合阵列 302

和 APD 阵列探测器 303。测距与强度获取子系统 4 包括：跨阻放大模块 401、增益可调放大模块 402、宽带放大模块 403、高速比较模块 404、AD 转换模块 405、高精度时间间隔测量模块 406、微控制器阵列 A407 和微控制器阵列 B408。

[0051] 主控制器 101 分别与姿态测量模块 102、GPS 接收机 103、外部存储器 104、显示器 105、脉冲激光器 201、PIN 高速光电探测模块 207、微控制器阵列 A407 和微控制器阵列 B408 相连。脉冲激光器 201 发出的激光先经过准直透镜 202，然后通过分光片 203 分为反射和透射两路激光，反射的小部分激光通过全反镜 206 进入 PIN 高速光电探测模块 207，透射的大部分激光经光纤分束器 204 进入发射透镜阵列 205 照射目标，PIN 高速光电探测模块 207 输出的信号分成三路分别输入主控制器 101、高精度时间间隔测量模块 406 和 AD 转换模块 405；目标反射回来的激光经接收透镜 301 聚焦进入光纤耦合阵列 302，光纤耦合阵列 302 分组输出多束激光信号耦合到 APD 阵列探测器 303 的各个光敏面单元上；APD 阵列探测器 303 输出的信号进入跨阻放大模块 401，跨阻放大模块 401 输出的信号同时进入增益可调放大模块 402 和宽带放大模块 403；增益可调放大模块 402 输出的信号进入高速比较模块 404，高速比较模块 404 输出的信号进入高精度时间间隔测量模块 406，高精度时间间隔测量模块 406 由微控制器阵列 B408 控制，宽带放大模块 403 输出到 AD 转换模块 405，AD 转换模块 405 由微控制器阵列 A407 实现控制。

[0052] 控制子系统 1 中 GPS 接收机 103 用于提供 PPS（秒脉冲）信号作为本实施例系统的启动信号以及获取本激光雷达系统的经纬度、高程和 UTC（协调世界时）时间信息；姿态测量模块 102 用于获取本激光雷达系统的航向角、俯仰角和侧滚角信息。主控制器 101 是本实施例系统的控制核心。

[0053] 图 2 为控制子系统 1 工作流程图。该流程图开始于步骤 S201。

[0054] 在步骤 S202，GPS 接收机 103 的 PPS 信号触发主控制器 101 内置 32 位计时器开始计时以启动本激光雷达系统工作。

[0055] 在步骤 S203，主控制器 101 读取 GPS 接收机 103 的位置信息。

[0056] 在步骤 S204，主控制器 101 控制姿态测量模块 102 工作并读取其姿态信息。

[0057] 在步骤 S205，主控制器 101 触发发射子系统 2 中激光器 201 发射脉冲激光照明目标。

[0058] 在步骤 S206，主控制器 101 以中断方式接收测距与强度获取子系统 4 采集、测量并转换得到的强度信息和距离信息。

[0059] 在步骤 S207，主控制器 101 将位置信息、姿态信息、强度信息、距离信息和时间同步标签信息保存到外部存储器 104 中，所述的时间同步标签信息把三个时刻统一到 GPS 接收机 103 提供的 UTC 时间上，从而实现同步。所述的三个时刻是：GPS 接收机 103 测出位置的时刻、姿态测量模块 102 测出姿态的时刻、收到 PIN 高速光电探测模块 207 发出脉冲的时刻（即脉冲激光器 201 发射激光的时刻）。

[0060] 控制子系统 1 工作流程结束于步骤 S208。

[0061] 本实施例中 GPS 接收机 103 采用加拿大 NovAtel 公司 OEMV-2 型号的差分 GPS 接收机，水平位置精度为 0.45m，更新频率达到 50Hz，使用 RS232 串行接口和主控制器 101 通信。所述的姿态测量模块 102，采用 IMU（惯性测量单元）获取本激光雷达系统姿态信息，数据更新频率可达 100Hz，在 GPS 接收机 103 的辅助下采用公知技术可保证 IMU 获取的三个

姿态角误差小于 0.08° ，IMU 使用 RS232 串行接口和主控制器 101 通信。所述的主控制器 101 作为本激光雷达系统的控制中心，采用意法半导体公司的 ARM STM32 高表现型低功耗产品，时钟频率高达 120MHz，通信接口多达 15 个，含 USB（通用串行总线）接口和以太网接口，内置闪存容量可达 1MHz 且能轻松扩展存储容量。所述的外部存储器 104 为轻巧型大容量存储器，用于存储本激光雷达系统采集的数据，本实施例系统采用 SD 卡（安全数码卡），其重量只有 1.5g，容量达 32GB，存取速度高达 30MB/s。

[0062] 发射子系统 2 由脉冲激光器 201、准直透镜 202、分光片 203、光纤分束器 204、发射透镜阵列 205、全反镜 206 和 PIN 高速光电探测模块 207 构成。图 3 为发射子系统 2 工作流程图。该流程图开始于步骤 S301。

[0063] 在步骤 S302，主控制器 101 触发脉冲激光器 201 发射激光，脉冲激光器 201 作为照明光源具备高峰值功率、窄脉冲、输出频率可调的特性，其工作波长与本接收子系统 3 中 APD 阵列探测器 303 峰值响应波长匹配，本实施例中采用 Solar LS 公司钛宝石可调谐激光器 LX329，调谐范围 700nm-980nm，脉冲宽度 7ns，峰值功率 750kW，重复频率 100Hz 内可调。

[0064] 在步骤 S303，准直透镜 202 用于准直脉冲激光器发射的激光束，本实施例中为提高发射效率准直透镜 202 和发射透镜阵列 205 均镀 905nm 增透膜。

[0065] 在步骤 S304，分光片 203 将准直后的激光分为比例悬殊的透射和反射两部分激光，反射激光占小部分，透射激光占大部分。

[0066] 在步骤 S305，分光片 203 分出的大部分激光进入光纤分束器 204。

[0067] 在步骤 S306，光纤分束器 204 为两级 1 分 16 分束器，将入射激光分为 256 束激光，分出的每束激光都对准发射透镜阵列 205 中的一个小透镜，所述的发射透镜阵列由 $16 \times 16 = 256$ 个小透镜构成。

[0068] 在步骤 S307，所述的 256 束激光经发射透镜阵列 205 中的 256 个小透镜分别准直后出射，对目标实施 16×16 点阵照明。所述的点阵照明把泛光照明的整体能量集中到有限的 16×16 点阵上，使发射激光能量利用充分，经试验测定，相比同等发射功率下的泛光照明探测距离可提高 20%。

[0069] 在步骤 S308，分光片 203 分出的小部分激光投射到全反射镜 206 上。

[0070] 在步骤 S309，全反射镜 206 将激光反射进入 PIN 高速光电探测模块 207，本实施例中采用中电科 44 所的 GT106 高速 PIN 光电二极管作为所述 PIN 高速光电探测模块 207 的光电探测器。

[0071] 在步骤 S310，高速 PIN 光电二极管对入射激光进行光电转换，再由 PIN 高速光电探测模块 207 内部的跨阻放大电路和高速比较电路处理，最终入射激光被转换为数字信号输出，该数字信号分为三路同时输出，第一路启动高精度时间间隔测量模块 406，第二路启动 AD 转换模块 405，第三路送至主控制器 101，用以表明激光发射时刻。

[0072] 发射子系统 2 工作流程结束于步骤 S311。

[0073] 接收子系统 3 由接收透镜 301，光纤耦合阵列 302 和 APD 阵列探测器 303 构成。图 4 为接收子系统 3 工作流程图。该流程图开始于步骤 S401。

[0074] 在步骤 S402，从目标漫反射回来的激光后向散射波进入接收透镜 301，本实施例中接收透镜采用非球面透镜，为提高接收效率接收透镜镀 905nm 增透膜。

[0075] 在步骤 S403，接收透镜 301 将激光回波聚焦进入 16×16 光纤耦合阵列 302，并保

证回波信号刚好完全覆盖光纤耦合阵列 302 端面,本实施例中光纤耦合阵列包含 16×16 路光纤。

[0076] 在步骤 S404, 光纤耦合阵列 302 将 16×16 路光纤分为 4 组 8×8 路输出, 每组 $8 \times 8 = 64$ 路光纤输出耦合到一个 8×8 APD 面阵芯片的 64 个光敏面单元上, APD 光敏面单元大小为 205um, 间距 320um, 所述的光纤耦合阵列采用特制光纤, 其参数根据耦合效率、接收视场角、光信号串扰等因素进行确定。采用光纤耦合阵列的优点在于有效减少了视场外环境光和杂散光进入 APD 阵列探测器, 并可使 16×16 APD 阵列探测器 303 上的 256 个 APD 单元精确对准来自探测目标反射的 256 路激光回波。本实施例中, APD 阵列探测器 303 含有 $16 \times 16 = 256$ 个 APD 单元, 采用 4 片德国 First Sensor 公司生产的 8×8 APD 面阵芯片组合构成 (即 APD 面阵芯片 1, APD 面阵芯片 2, APD 面阵芯片 3 和 APD 面阵芯片 4 构成 16×16 APD 阵列探测器 303)。本实施例中使用的 APD 面阵芯片在 905nm 响应度达到 60A/W, 其击穿电压为 200V。电路设计时由 5V 电源升压获得雪崩效应所需的偏置高压, 而且该偏置高压和高速比较模块 404 所需的参考电平均设计为可调节。

[0077] 接收子系统 3 工作流程结束于步骤 S405。

[0078] 测距与强度获取子系统 4 由跨阻放大模块 401, 增益可调放大模块 402, 宽带放大模块 403, 高速比较模块 404, AD 转换模块 405, 高精度时间间隔测量模块 406, 微控制器阵列 A407 和微控制器阵列 B408 构成。

[0079] 图 5 为测距与强度获取子系统 4 工作流程图。该流程图开始于步骤 S501。

[0080] 在步骤 S502, APD 阵列探测器 303 光电转换后输出的 $16 \times 16 = 256$ 路微弱电流信号进入跨阻放大模块 401 中, 跨阻放大模块 401 由 4 组 64 路跨阻放大电路组成, 其作用是把 256 路电流信号转换为电压信号后同时输出到下级增益可调放大模块 402 和宽带放大模块 403 中。本实施例中跨阻放大模块 401 中的跨阻放大器使用飞利浦公司的 NE5210, 它具有低噪声、高带宽、跨阻适中、差分输出等优点。

[0081] 在步骤 S503, 跨阻放大模块 401 输出的电压信号进入增益可调放大模块 402 并行放大, 增益可调放大模块 402 由 4 组 64 路增益可调放大电路组成。由于跨阻放大器 NE5210 输出的电压信号正比于 APD 输出的电流信号, 而 APD 输出的电流信号又与目标物到 APD 的距离成平方反比, 从而造成跨阻放大器输出电压有较大动态范围, 因此跨阻放大模块 401 后续电路设计为增益可调放大电路, 以此保证距离测量系统的精度, 即: 距离较远时电路增益变大, 距离较近时增益变小, 使得经过此电路放大输出的电压信号基本不随距离变化, 从而解决了因探测距离不同引起的激光回波脉冲时间游走问题。本实施例中增益可调放大器选用亚德诺公司宽频带、低噪声、低畸变、高增益的 AD8330 芯片, 其增益控制电压 V_g 与输出信号大小成反比, 可实现增益自动控制功能。

[0082] 在步骤 S504, 增益可调放大模块 402 输出的信号进入高速比较模块 404, 高速比较模块 404 由 4 组 64 路高速比较电路组成, 通过与预设参考电压比较后, 高速比较模块 404 输出的数字信号作为停止信号输入到高精度时间间隔测量模块 406 中。本实施例中高速比较器采用德州仪器公司的单端输入单端输出的比较器 LMV7219, 其上升和下降时间为 1.3ns, 轨到轨输出, 很适合前沿定时。

[0083] 在步骤 S505, 高精度时间间隔测量模块 406 用于测量激光发射时刻至接收到停止信号的时间间隔, 该模块可并行测量 $16 \times 16 = 256$ 路激光飞行时间, 从而获取 256 路距离信

息。本实施例中,高精度时间间隔测量模块 406 采用德国 acam 公司计时分辨率 81 皮秒的 8 通道 TDC-GPX 芯片,共使用 32 片。微控制器阵列 B408 由 8 片 ARM STM32 系列微处理器芯片组成,每片 ARM STM32 系列微处理器控制 4 片 TDC-GPX 芯片。TDC-GPX 芯片的配置及测量过程都在微控制器阵列 B408 控制下完成,时间间隔测量数据由 TDC-GPX 芯片输出到外部 28 位数据总线上以供微控制器阵列 B408 读取。

[0084] 在步骤 S506,微控制器阵列 B408 将距离信息测量数据以 DMA 方式通过 10M/100M 以太网接口或 USB 接口上传给控制子系统 1 中的主控制器 101。

[0085] 在步骤 S507,跨阻放大模块 401 输出的 256 路电压信号进入宽带放大模块 403 的 256 路宽带放大电路并行放大,宽带放大模块 403 分为 4 组,每组由 64 路宽带放大电路组成。本实施例中宽带放大模块 403 采用亚德诺公司的 ADL5565 放大器,该放大器支持差分输入,能够匹配跨阻放大模块 401 中的 NE5210 放大器。

[0086] 在步骤 S508,宽带放大模块 403 输出的信号进入 AD 转换模块 405,AD 转换模块 405 由 4 组 64 路 AD 转换电路组成,微控制器阵列 A407 控制 AD 转换模块 405 并行转换,并且微控制器阵列 A407 负责读取并暂存转换得到的代表回波强度信息的数字量。

[0087] 在步骤 S509,微控制器阵列 A407 将强度信息测量数据以 DMA 方式通过 10M/100M 以太网接口或 USB 接口上传到控制子系统 1 中的主控制器 101。本实施例中,微控制器阵列 A407 采用 8 片 Altera 公司 Cyclone 系列 FPGA,每片 FPGA 控制 32 路 AD 转换电路。

[0088] 测距与强度获取子系统 4 工作流程结束于步骤 S510。

[0089] 以上公开的仅为本发明的一个实施例,但本发明并非局限于此,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,做出的扩展应视为属于本发明保护范围。

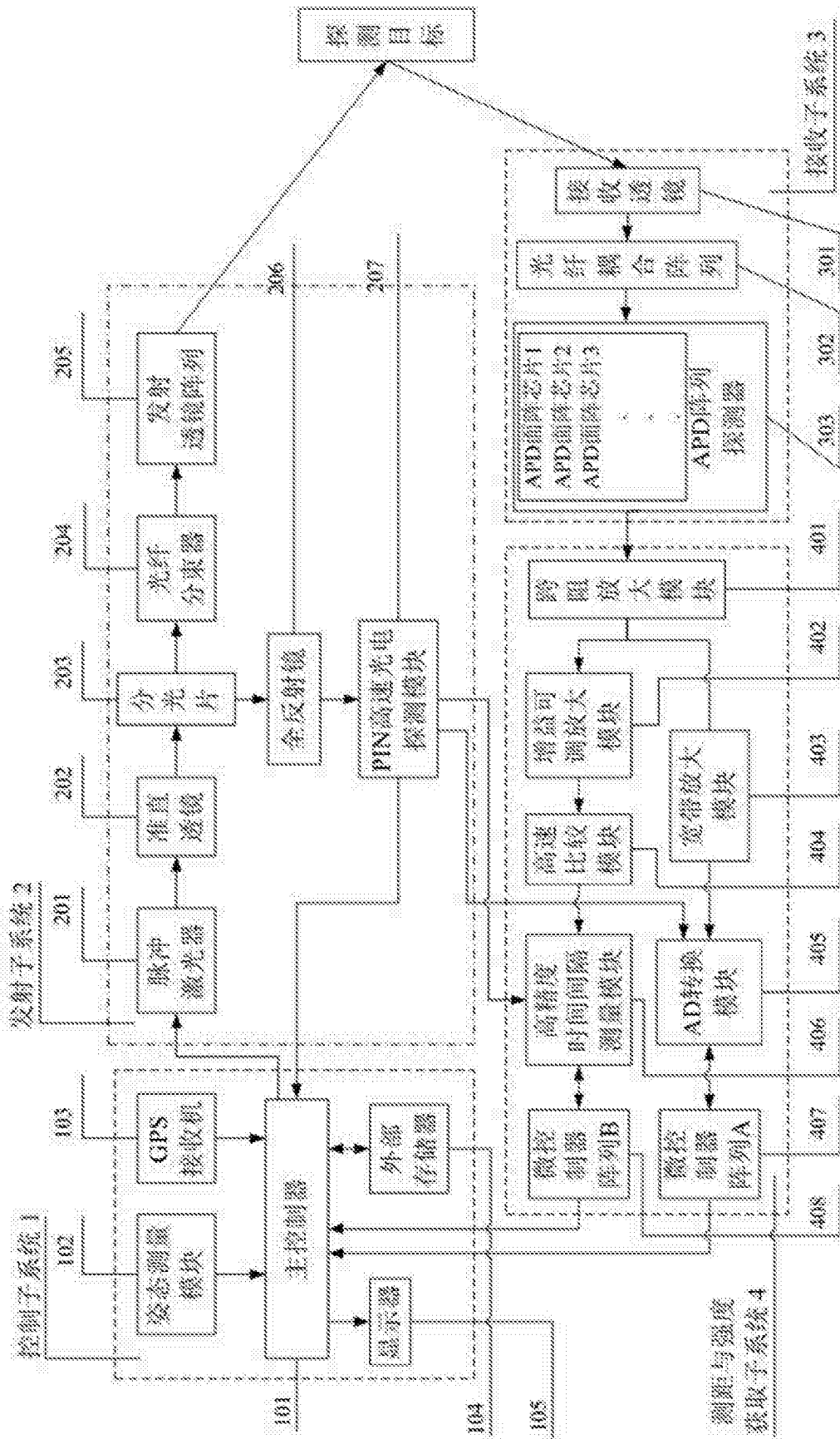


图1

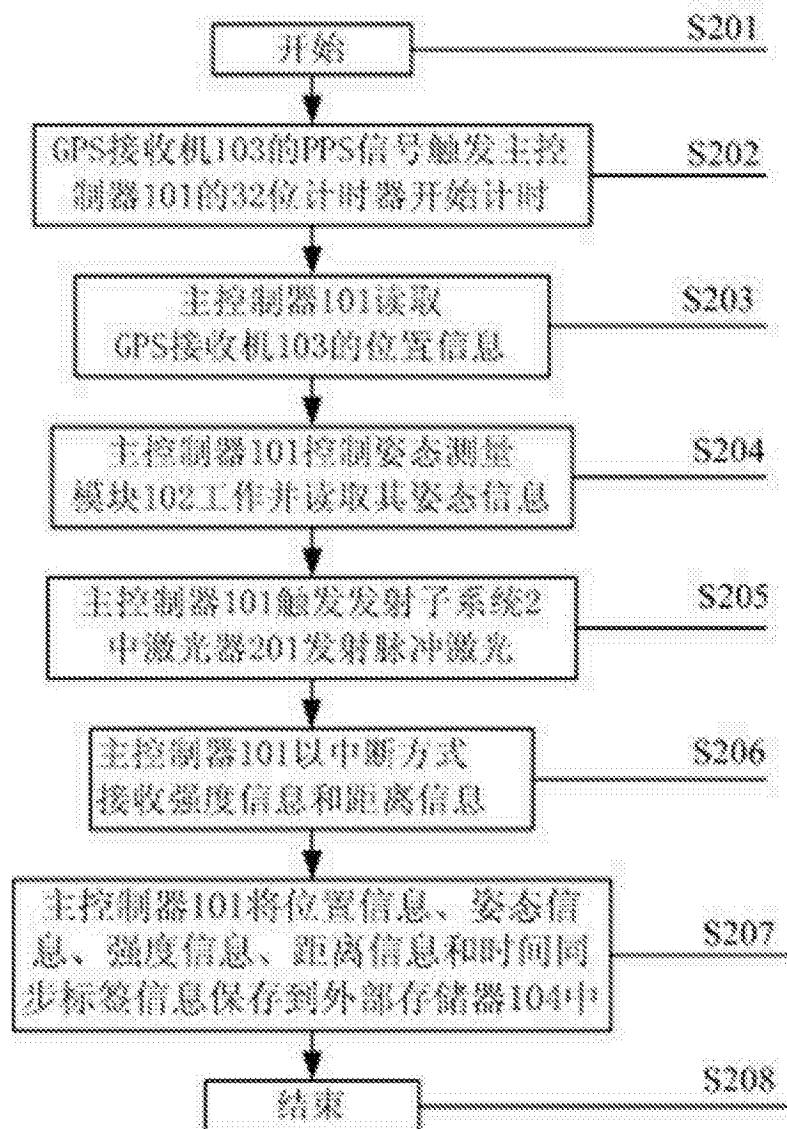


图 2

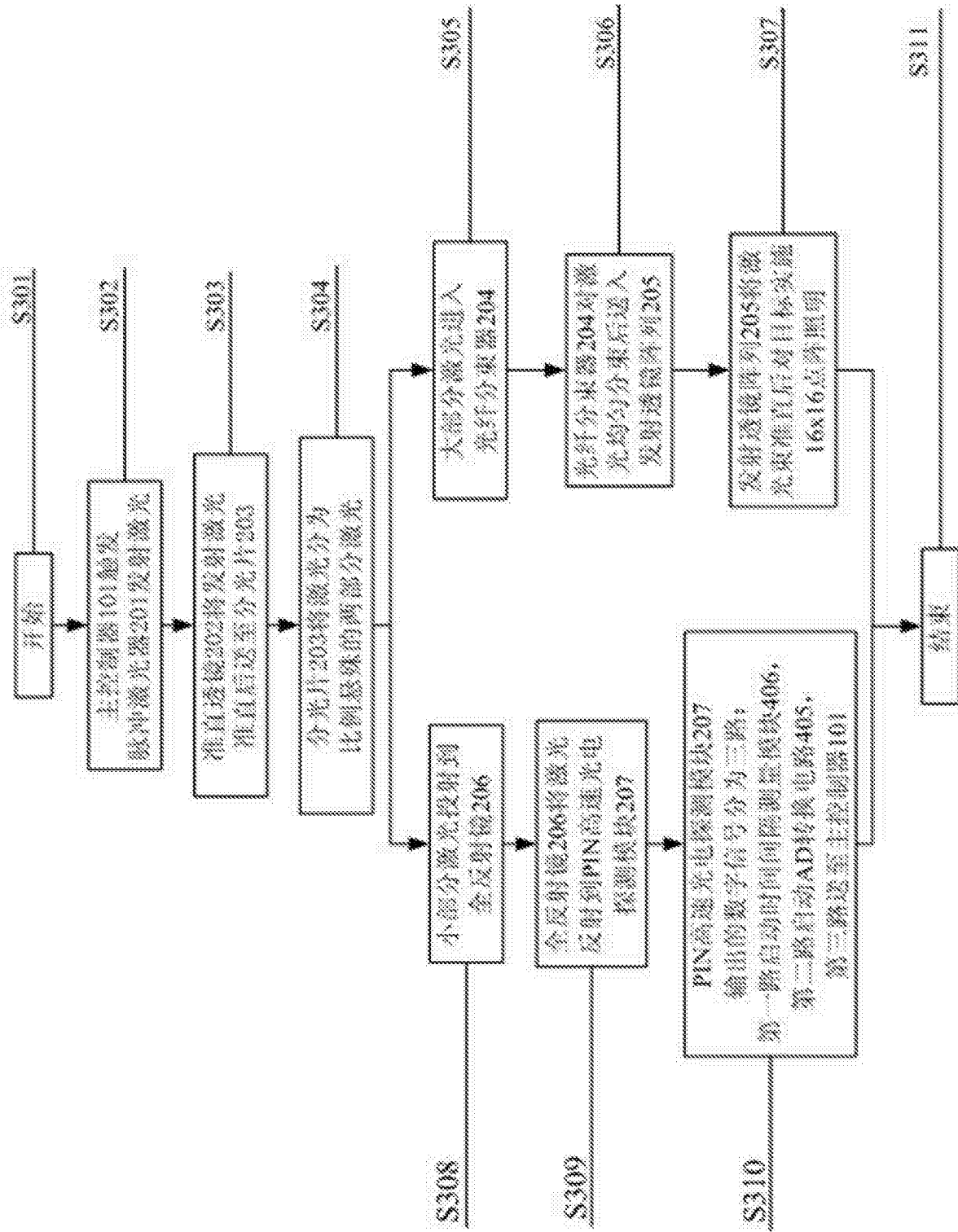


图 3

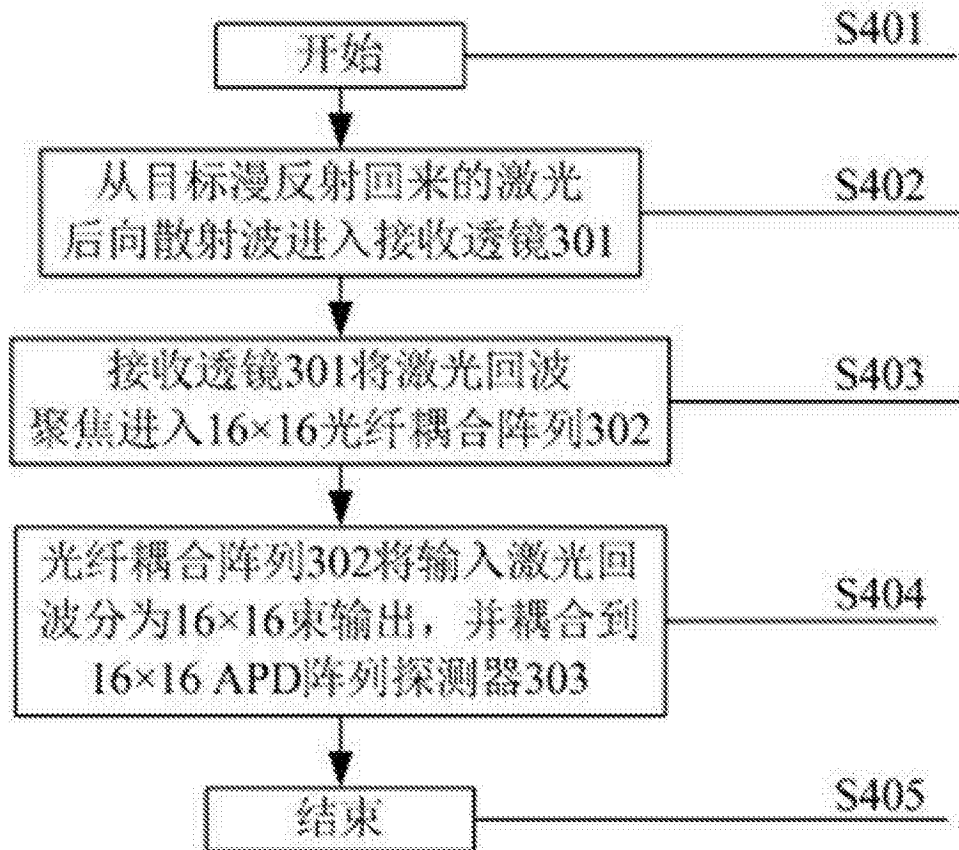


图 4

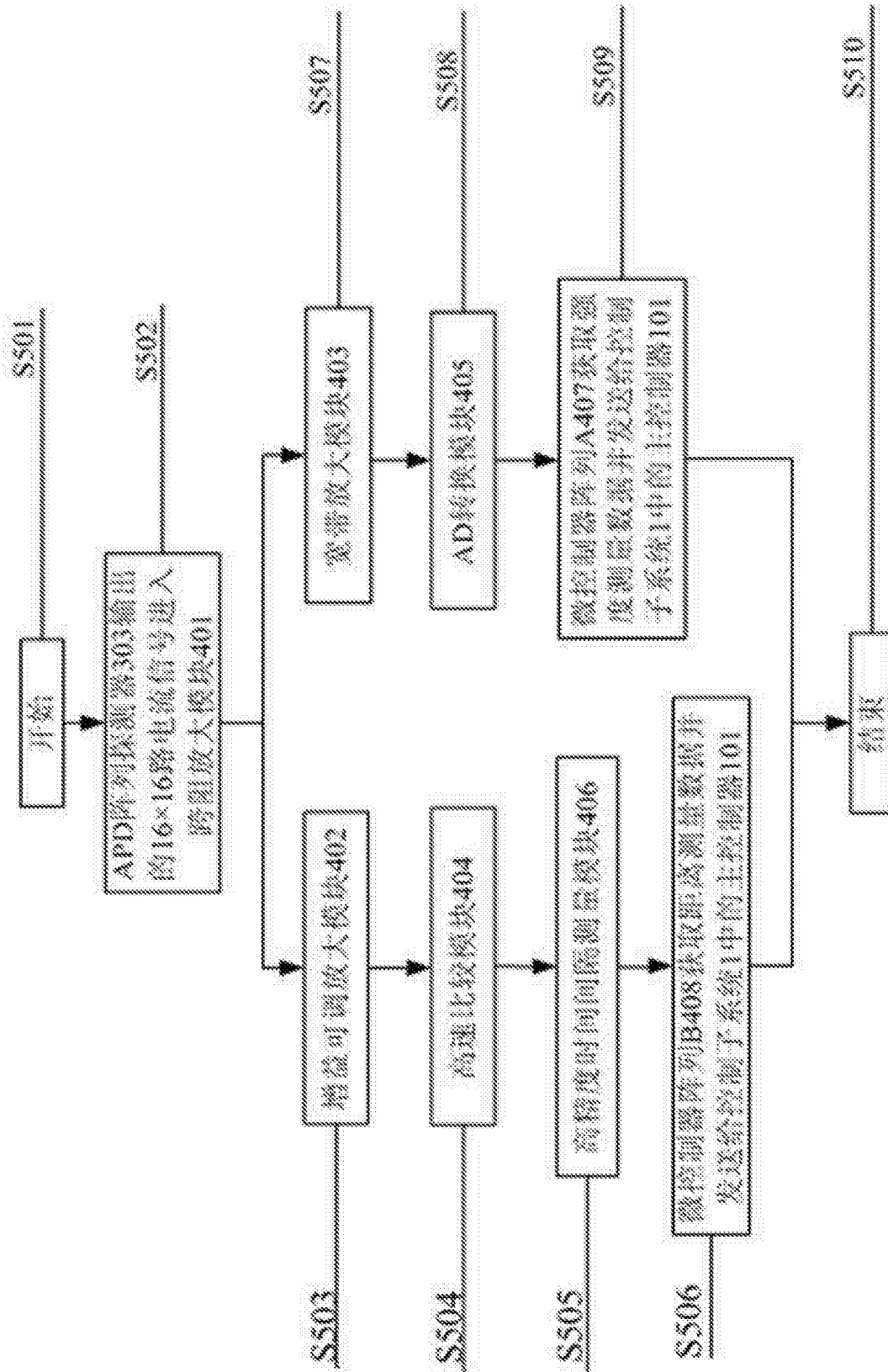


图 5