



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109416403 A

(43)申请公布日 2019.03.01

(21)申请号 201780036380.6

(22)申请日 2017.04.18

(30)优先权数据

PA201600232 2016.04.18 DK

PA201670662 2016.08.30 DK

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.12.12

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2017/059127 2017.04.18

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/182440 EN 2017.10.26

(71)申请人 法纳电子学控股公司

地址 丹麦哥本哈根

(72)发明人 M·B·索伦森

(74)专利代理机构 北京市中伦律师事务所
11410

代理人 杨黎峰 钟锦舜

(51)Int.Cl.

G01S 17/88(2006.01)

G01S 17/02(2006.01)

G01S 17/46(2006.01)

G01S 7/481(2006.01)

G01S 7/497(2006.01)

G01S 7/499(2006.01)

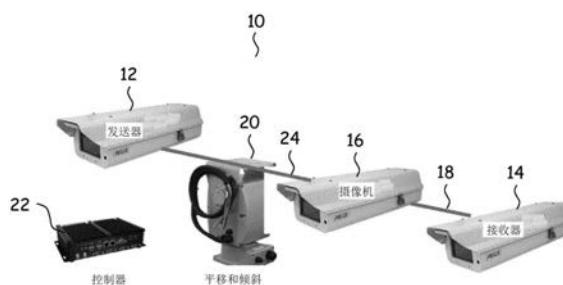
权利要求书4页 说明书25页 附图9页

(54)发明名称

用于空中和水生动物群的光学遥感系统的改进或与之相关的改进及其用途

(57)摘要

提供光学遥感系统,其用于关于生物体(诸如动物,诸如昆虫、鸟类、蝙蝠或水生生物)数量和生物学特异性来量化空中或水生动物群。



1. 一种用于分析动物群的LIDAR系统,其包括
至少一个电磁辐射源,所述至少一个电磁辐射源适于朝向测量体积发射电磁辐射以用于照射所述测量体积中的动物,
至少一个电磁辐射探测器,所述至少一个电磁辐射探测器被布置用于响应于接收到已与所述测量体积中的所述动物相互作用的电磁辐射来提供至少一个输出信号,以及
处理器,所述处理器适于基于所述至少一个输出信号而:
探测所述测量体积中的动物,
对探测到的动物进行计数,以及
确定与所述动物的物种相关的所接收到的电磁辐射的至少一个参数。
2. 根据权利要求1所述的LIDAR系统,其中所述处理器适于:
将所确定的至少一个参数与用于不同物种的一组参考数据进行比较,并且适于:
基于所述比较产生关于所述动物的生物学特异性的信息。
3. 根据权利要求2所述的LIDAR系统,其中所述比较包括将所述至少一个参数的值分布与所述一组参考数据的对应的值分布进行比较。
4. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中所述至少一个电磁辐射探测器中的至少一个第一探测器被布置用于接收从所述测量体积反向散射的电磁辐射。
5. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中所述至少一个电磁辐射探测器中的至少一个第二探测器被布置用于从第一角度接收来自所述测量体积的电磁辐射,所述第一角度与由所述至少一个电磁辐射源发射的所述电磁辐射的传播方向不同。
6. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中所述至少一个电磁辐射探测器中的至少一个第三探测器被布置用于从第二角度接收来自所述测量体积的电磁辐射,所述第二角度与由所述至少一个电磁辐射源发射的所述电磁辐射的传播方向不同并且与所述第一角度不同。
7. 根据权利要求4所述的LIDAR系统,其包括第一光学系统,所述第一光学系统被布置用于与所述至少一个第一探测器协作,以接收从所述测量体积反向散射的电磁辐射。
8. 根据权利要求5所述的LIDAR系统,其包括第二光学系统,所述第二光学系统被布置用于根据沙氏(Scheimpflug)原理与所述至少一个第二探测器协作,以从所述第一角度接收来自所述测量体积的电磁辐射。
9. 根据权利要求6所述的LIDAR系统,其包括第三光学系统,所述第三光学系统被布置用于根据沙氏(Scheimpflug)原理与所述至少一个第三探测器协作,以从与所述第一角度不同的所述第二角度接收来自所述测量体积的电磁辐射。
10. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中所述处理器适于控制所述至少一个电磁辐射源并且适于交替地打开和关闭所述至少一个电磁辐射源,并且其中所述处理器进一步适于在所述至少一个电磁辐射源关闭时,确定来自所述测量体积的电磁辐射的背景发射。
11. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其包括至少一个成像系统,所述至少一个成像系统用于将所述测量体积成像到所述至少一个探测器上。
12. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其包括:
框架,

发送器壳体,所述发送器壳体安装到所述框架上、用于容纳所述至少一个电磁辐射源,以及

至少一个接收器壳体,所述至少一个接收器壳体安装到所述框架、用于容纳所述至少一个电磁辐射探测器。

13. 根据权利要求12所述的LIDAR系统,其中所述框架包括梁,并且其中所述发送器壳体和所述至少一个接收器壳体安装到所述梁。

14. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其包括至少一个摄像机,所述至少一个摄像机被布置用于监测所述测量体积。

15. 根据权利要求14所述的LIDAR系统,其包括至少一个摄像机壳体,所述至少一个摄像机壳体用于容纳所述至少一个摄像机并安装到所述框架。

16. 根据权利要求14或15所述的LIDAR系统,其中所述处理器连接到所述至少一个摄像机,以用于从所述至少一个摄像机接收图像,并且其中所述处理器适于对从所述至少一个摄像机接收的图像执行图像分析且适于响应于所执行的分析来控制所述至少一个电磁辐射源。

17. 根据权利要求16所述的LIDAR系统,其中所述处理器适于监测所述至少一个电磁辐射源和所述至少一个探测器的对准。

18. 根据权利要求16或17所述的LIDAR系统,其中所述处理器适于监测接近所述电磁辐射的人类的存在并且关闭所述至少一个电磁辐射源以防止人类被无意照射。

19. 根据权利要求12-18中任一项所述的LIDAR系统,其包括扫描器,所述扫描器被布置用于使所述框架移动并由此使所述测量体积移动。

20. 根据权利要求19所述的LIDAR系统,其中所述处理器适于控制所述扫描器以使所述测量体积沿期望的移动轨迹在期望的体积上移动。

21. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中所述至少一个电磁辐射源包括用于发射电磁辐射光束的激光器和适于将所述光束的强度分布成形为期望的光束分布的光束成形器。

22. 根据权利要求21所述的LIDAR系统,其中所述光束成形器包括光纤,所述光纤适于将所述光束的所述强度分布成形为高斯光束分布。

23. 根据权利要求21所述的LIDAR系统,其中所述光束成形器包括相衬系统,所述相衬系统适于使所述光束的所述强度分布成形。

24. 根据权利要求23所述的LIDAR系统,其中所述相衬系统适于将所述光束的所述强度分布成形为顶帽分布。

25. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其包括校准器,所述校准器被布置用于将具有已知光学特性的对象放置在所述测量体积中。

26. 根据权利要求25所述的LIDAR系统,其中所述处理器适于基于从所述测量体积中的所述对象接收到的电磁辐射来确定系统参考数据。

27. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其包括带通滤波器,所述带通滤波器与所述至少一个探测器协作以便抑制背景信号并且具有在所述至少一个电磁辐射源的波长范围内的中心波长。

28. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中

所述至少一个电磁辐射源包括至少两个激光器,所述至少两个激光器用于发射相应的具有至少两个不同的中心波长(w_1 、 w_2 、...、 w_n)的电磁辐射,并且其中,

所述处理器适于:

确定所述至少两个波长(w_1 、 w_2 、...、 w_n)的强度,并且适于:

将所确定的强度与用于不同物种的所述一组参考数据进行比较,并且适于:

基于所述比较产生关于所述动物的生物学特异性的信息。

29. 根据权利要求28所述的LIDAR系统,其中所述至少两个波长(w_1 、 w_2 、...、 w_n)的所发射的电磁辐射在所述测量体积中重合。

30. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中

所述至少一个电磁辐射源被布置用于发射具有至少两种不同偏振态(p_1 、 p_2)的电磁辐射,并且其中,

所述处理器适于:

确定所述至少两种偏振态(p_1 、 p_2)下的强度,并且适于:

将所确定的强度与用于不同物种的所述一组参考数据进行比较,并且适于:

基于所述比较产生关于所述动物的生物学特异性的信息。

31. 根据权利要求30所述的LIDAR系统,其中在至少两种偏振态(p_1 、 p_2)下发射的电磁辐射在所述测量体积中重合。

32. 根据权利要求28-31中任一项的LIDAR系统,其中所述一组参考数据包括用于至少两种物种,诸如多于三种、多于五种、多于十种、多于100种或多于1000种物种的生物学特异性参数。

33. 根据权利要求32所述的LIDAR系统,其中所述一组参考数据包括用于至少两种不同物种,诸如至少三种、至少五种、至少10种、至少100种或至少1000种物种的数据。

34. 根据权利要求28-33中任一项所述的LIDAR系统,其中所述一组参考数据包括以下参数中的一者或多者的用于不同物种的信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白、翅膀的微观结构,诸如周期性和/或厚度。

35. 根据权利要求28-34中任一项所述的LIDAR系统,其中所述一组参考数据包括以下参数中的一者或多者的用于不同物种的光谱微分吸收信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白、翅膀的微观结构,诸如周期性和/或厚度,和/或所述一组参考数据包括以下参数中的一者或多者的用于不同物种的偏振相关吸收和/或反射信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白、翅膀的微观结构,诸如周期性和/或厚度。

36. 根据权利要求28-35中任一项所述的LIDAR系统,其中所述一组参考数据是从在具有预定昆虫物种的昆虫馆中操作于空中动物群的LIDAR获得的。

37. 根据权利要求28-36中任一项所述的LIDAR系统,其中所述一组参考数据嵌入在所述处理器内。

38. 根据权利要求28-37中任一项所述的LIDAR系统,其中所述一组参考数据被远程访问。

39. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统,其中所述至少一个探测器中的至少一个被布置用于探测所述动物通过所述测量体积的移动方向。

40. 根据权利要求39所述的LIDAR系统,其中所述至少一个电磁辐射探测器中的至少一

个是象限探测器。

41. 根据任一前述权利要求所述的LIDAR系统在农学中的用途。

42. 一种优化在农学中使用农药的方法,其中所述方法包括以下步骤:使用根据权利要求1-40中任一项所述的系统测量一种、两种或更多种昆虫物种,分析来自测量的数据并确定期望的农药、喷洒时间、喷洒安排和喷洒量中的至少一者。

43. 根据权利要求42的方法,其包括数据库的使用,所述数据库包括关于用于确定期望的农药、喷洒时间、喷洒安排和喷洒量中的至少一者的昆虫和农药中的至少一者的信息。

44. 一种优化使用农用化学品的方法,其包括以下步骤:使用根据权利要求1-40中任一项所述的系统测量一种、两种或更多种昆虫物种,分析来自所述测量的数据并确定期望的农用化学品、喷洒时间、喷洒安排和喷洒量。

45. 根据权利要求44的方法,其包括数据库的使用,所述数据库包括关于用于确定期望的农用化学品、喷洒时间、喷洒安排和喷洒量中的至少一者的昆虫和农用化学品中的至少一者的信息。

46. 一种在包括至少一种预定物种,诸如至少两种、至少三种、至少五种、至少10种、至少100种、或至少1000种预定物种的昆虫馆中使用用于空中动物群的根据权利要求1-40中任一项所述的LIDAR系统产生一组生物学特异性数据的方法。

用于空中和水生动物群的光学遥感系统的改进或与之相关的改进及其用途

技术领域

[0001] 本公开涉及空中和水生动物群领域,尤其涉及被称为LIDAR(光探测和测距)的光学遥感。提供了改进的LIDAR系统和方法,其用于对空中和/或水生动物群进行测量、量化、监测、分类、指定、勘测、预测、预报、调查和/或预警,例如,用于多个领域和应用,诸如农学、疟疾控制、风力发电厂、水产养殖生产(例如,养鱼场)以及科学(例如,昆虫学、鸟类学、生物地理学、海洋学)。

背景技术

[0002] 大气动物群包括昆虫,昆虫在地球生态系统中起关键作用并以多种方式影响人类;包括作为粮食生产的传粉者、作为可能对农业产生破坏性影响的害虫、以及作为可将致命疾病传染给人类和牲畜的蚊子和蠓。

[0003] 为了研究昆虫,传统方法是使用诱捕器捕获昆虫以便进行随后的检验和分析。使用各种类型的诱捕器并且诱捕器方法几十年来一直是昆虫学家确定昆虫信息(诸如物种、性别、年龄分类、微形态和饮食信息)的优选方法。然而,所述方法相对于每只昆虫而言是非常费力、耗时且昂贵的。因此,可以被研究的昆虫数量限于可能被捕获的昆虫数量(通常在一至几十或小几百)、可用资源(人力)、或感兴趣的地区/大气区域的可达性。此外,已知许多诱捕方法存在偏差和扰动(Muirhead-Thomson R, Trap responses of flying insects: The influence of trap design on capture efficiency, Academic Press (1991))。

[0004] 为了克服传统诱捕器的局限性,已经提出了LIDAR系统,例如参见Brydegaard Sørensen、Mikkel LU; Guan、Zuguang LU; Wellenreuther、Maren LU和Svanberg、Sune LU (2009) In Applied Optics, 第48期(第30卷), 第5668-5677页)。用于空中动物群的此类LIDAR系统已成为重要研究的主题,并且包括传输到大气中的激光束和测量来自昆虫的反向散射激光的接收器/探测器。所述系统能够对昆虫与激光束相交的数量事件进行计数。由于激光束的射程很远,因而可以针对空中动物群对大的大气区域进行分析。因此,所述系统能够对大数目的昆虫进行计数,诸如数万至数十万,且甚至高达数百万。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种光学遥感系统、其用途和方法,以量化空中和水生环境中的诸如昆虫、鸟类、蝙蝠和水生生物的生物特异性。

[0006] 本发明的目的是提供用于改进和/或减少在农业和水产养殖生产中使用农药和化学品的的方法。

[0007] 特别地,其目的是量化与农业景观中的土地利用、耕作制度和农作物类型相关联的空中昆虫动物群。

[0008] 本发明的目的是提供用于害虫控制,以及与传粉者有关的信息的新手段。

[0009] 本发明的目的是提供一种控制、预警和/或对抗载体传播疾病(诸如疟疾、黄热病、

寨卡病毒、HAT和AAT昏睡病、基孔肯雅病毒、登革热、西尼罗河病毒等)的系统。

[0010] 上述和其他目标由

[0011] 用于分析动物群的LIDAR系统实现,所述LIDAR系统包括

[0012] 至少一个电磁辐射源,所述至少一个电磁辐射源适于朝向测量体积发射电磁辐射,以用于照射测量体积中的动物,

[0013] 至少一个电磁辐射探测器,所述至少一个电磁辐射探测器被布置用于响应于接收到与测量体积中的动物相互作用的电磁辐射来提供至少一个输出信号,以及

[0014] 处理器,所述处理器适于基于至少一个输出信号探测测量体积中的动物。

[0015] 处理器可以进一步适于对探测到的动物进行计数。

[0016] 处理器可以进一步适于确定与探测到的动物的物种相关的接收到的电磁辐射的至少一个参数。

[0017] 处理器可以进一步适于将所确定的至少一个参数与不同物种的一组参考数据进行比较,并且适于

[0018] 基于所述比较产生关于动物的生物学特异性的信息。

[0019] 所述比较可以包括将至少一个参数的值分布与所述一组参考数据的对应的值分布进行比较。

[0020] 所述比较可以包括利用回归分析,诸如线性回归分析。

[0021] 所述比较可以包括利用聚类。

[0022] 所述比较可以包括形成所确定的至少一个参数的值的直方图并形成所述一组参考数据的至少一个参数的值的直方图,并且将所形成的所确定的至少一个参数的直方图中的一个或多个与所形成的所述一组参考数据的至少一个参数的相应的一个或多个直方图进行比较。

[0023] 例如,所述一组参考数据可以包括在实验室条件下获得的各个物种的雄性和雌性蚊子的翅拍频率。通常,相同物种的雄性和雌性蚊子具有不同的翅拍频率。通过释放多个相同性别和类型的个体并且利用实验室LIDAR系统依次针对多种类型的蚊子确定它们的翅拍频率来获得翅拍频率。然后可以针对每个物种的雄性蚊子和每个物种的雌性蚊子形成翅拍频率的直方图。然后可以将现场确定的所有翅拍频率的直方图与先前确定的针对每个性别和每个物种的翅拍频率的直方图进行比较,以便识别在所确定的现场数据中的相应性别和物种的可能存在。

[0024] 测量体积是空间中的体积,所述空间由至少一个电磁辐射源照射并且驻留在至少一个探测器的视场中。

[0025] 测量体积可以具有范围为5cm至20cm,诸如8cm至15cm的直径。测量体积的一端可以位于距LIDAR系统的至少一个电磁辐射源1m的距离内,并且测量体积的另一端可以位于距至少一个电磁辐射源1km的位置。例如,测量体积可以具有12cm的直径,其中测量体积的一端位于距至少一个电磁辐射源30m的距离内,并且测量体积的另一端可以位于距至少一个电磁辐射源200m的位置。

[0026] 当一个对象(诸如动物,例如昆虫)处于测量体积中时,所述对象被电磁辐射照射并使电磁辐射散射。所散射的辐射的一部分朝向至少一个探测器传播,所述探测器响应于接收到散射的电磁辐射输出至少一个输出信号,从而可以探测测量体积中的动物。

- [0027] 在下文中,从测量体积中的动物接收散射的电磁辐射被称为事件。
- [0028] 两只动物很少同时存在于测量体积中,使得由至少一个探测器在那时从一只动物接收散射的电磁辐射。
- [0029] 在下文中,所公开的一些LIDAR系统(诸如其中至少一个探测器包括根据沙氏原理布置的线性CCD或CMOS阵列的LIDAR系统,如下文进一步公开的)在多余一只动物同时处于测量体积中时也可以区分来自单独动物的散射的电磁辐射。
- [0030] 接收到的散射的电磁辐射包含关于使电磁辐射散射的动物的信息。LIDAR系统的处理器适于通过确定与使电磁辐射散射的动物相关的接收到的电磁辐射的至少一个参数来从接收到的散射电磁辐射中提取至少部分信息。
- [0031] LIDAR系统可以包括具有处理器的处理器单元。
- [0032] LIDAR系统可以包括处理器单元,所述处理器单元具有容纳处理器的处理器壳体。
- [0033] LIDAR系统可以包括具有至少一个电磁辐射源的发送器单元。
- [0034] LIDAR系统可以包括发送器单元,所述发送器单元具有容纳至少一个电磁辐射源的发送器壳体。
- [0035] LIDAR系统可以包括具有至少一个电磁辐射探测器的接收器单元。
- [0036] LIDAR系统可以包括接收器单元,所述接收器单元具有容纳至少一个电磁辐射探测器的接收器壳体。
- [0037] 至少一个源
- [0038] 至少一个电磁辐射源可以发射近红外(NIR)范围内的辐射,例如,具有范围为750nm至1400nm的波长的辐射。
- [0039] 至少一个电磁辐射源可以发射短波红外(SWIR)范围内的辐射,例如,具有范围为1400nm至3000nm的波长的辐射。
- [0040] 至少一个电磁辐射源可以包括一个或多个激光器,例如包括连续波激光器,所述激光器用于发射相应的一个或多个电磁辐射束。
- [0041] 至少一个电磁辐射源可以包括至少一个,诸如至少两个激光器,所述激光器用于发射具有相应的至少两个不同的中心波长 w_1 、 w_2 、...、 w_n 的电磁辐射。
- [0042] 优选地, w_1 和 w_2 以至少100nm分开。例如,出于眼睛安全的原因, w_1 和 w_2 可以是近红外波长,例如 w_1 可以等于或约等于808nm并且 w_2 可以等于或约等于980nm;或者, w_1 可以等于或约等于980nm并且 w_2 可以等于或约等于1550nm。
- [0043] 至少一个电磁辐射源可以包括激光器,所述激光器发射多个频率的辐射,诸如基频和多个谐波,例如第一谐波、第二谐波和第三谐波。
- [0044] 至少一个电磁辐射源可以包括两个单独连续波(CW)激光器。
- [0045] 例如,发送器单元的至少一个电磁辐射源可以包括二极管激光器、二极管激光器阵列、超连续光源等。超连续光源可以从商业供应商(诸如Eagleyard Photonics GmbH或NKT Photonics A/S)获得。
- [0046] 至少一个电磁辐射源可以被布置用于发射至少两种不同偏振态 p_1 、 p_2 的电磁辐射。
- [0047] 至少一个电磁辐射源可以包括二极管激光器,例如输出功率范围为100mW至3W的二极管激光器。

[0048] 至少一个探测器

[0049] 至少一个探测器被布置用于接收到与测量体积中的动物相互作用的电磁辐射,并且还可以被布置用于探测动物通过测量体积的移动方向。

[0050] 至少一个探测器可以包括象限探测器,其中每个象限响应于接收到电磁辐射来提供输出信号,从而使得能够基于来自每个象限的输出信号的时间来探测动物通过测量体积的移动方向。

[0051] 至少一个探测器还能够解析翅拍频率,条件是采样频率高于2kHz,诸如高于3kHz等,因为昆虫的基本翅拍频率至多为1kHz。例如,采样频率可以是3kHz。

[0052] LIDAR系统可以包括至少一个电磁辐射探测器中的至少一个第一探测器,所述至少一个第一探测器被布置用于接收来自测量体积的反向散射的电磁辐射。

[0053] LIDAR系统可以包括至少一个电磁辐射探测器中的至少一个第二探测器,所述至少一个第二探测器被布置用于例如根据沙氏原理从与由至少一个电磁辐射源发射的电磁辐射的传播方向(即,向前或向后方向)不同的第一角度接收来自测量体积的电磁辐射。

[0054] LIDAR系统可以包括至少一个电磁辐射探测器中的至少一个第三探测器,所述至少一个第三探测器被布置用于例如根据沙氏原理从与由至少一个电磁辐射源发射的电磁辐射的传播方向(即,向前或向后方向)不同并且与第一角度不同的第二角度接收来自测量体积的电磁辐射。

[0055] 至少一个电磁辐射探测器可以包括半导体探测器,诸如硅(Si)探测器,诸如Si象限探测器,例如适于探测0.19 μm 至1 μm 范围内的电磁辐射的Si探测器。Si探测器还能够解析翅拍频率,条件是采样频率高于2kHz,诸如3kHz和高于3kHz,因为昆虫的基本翅拍频率至多为1kHz。

[0056] 至少一个电磁辐射探测器可以包括铟镓砷化物(InGaAs)探测器,例如,InGaAs象限探测器,例如,用于探测0.9 μm 至1.7 μm 范围内的电磁辐射。

[0057] InGaAs探测器还能够解析翅拍频率,条件是采样频率高于2kHz,诸如3kHz和高于3kHz,因为昆虫的基本翅拍频率至多为1kHz。

[0058] 至少一个电磁辐射探测器可以包括探测器阵列,诸如二维探测器阵列、线性探测器阵列等,例如二维CCD或CMOS阵列、或线性CCD或CMOS阵列,诸如具有2048个像素的线性CCD或CMOS阵列,其中CCD或CMOS阵列的每个探测器(也表示为像素)被布置用于例如根据沙氏原理接收来自测量体积的特定部分的电磁辐射。

[0059] CCD或CMOS阵列的每个探测器响应于由所述探测器接收的电磁辐射(即入射在其上的电磁辐射)的强度对电容器充电,使得在每个时间点,电容器的电荷量对应于由所讨论的探测器接收的电磁辐射的整体强度。CCD或CMOS阵列的电容器的整组电荷以规则的间隔输出并表示为帧。在读出电容器电荷值时,电容器被重置为零电荷。

[0060] 光学器件

[0061] LIDAR系统可以包括第一光学系统,所述第一光学系统被布置用于与至少一个第一探测器协作,以便接收来自测量体积的反向散射的电磁辐射。

[0062] LIDAR系统可以包括第二光学系统,所述第二光学系统被布置用于根据沙氏原理与至少一个第二探测器协作,以便从与由至少一个电磁辐射源发射的电磁辐射的传播方向(即,向前或向后方向)不同的第一角度接收来自测量体积的电磁辐射。

[0063] LIDAR系统可以包括第三光学系统,所述第三光学系统被布置用于根据沙氏原理与至少一个第三电磁辐射探测器协作,以便从与由至少一个电磁辐射源发射的电磁辐射的传播方向不同并且与第二光学系统的第一角度不同的第二角度接收来自测量体积的电磁辐射。

[0064] 优选地,所述系统根据沙氏原理和合叶(Hinge)规则设计。

[0065] LIDAR系统可以包括至少一个成像系统,所述至少一个成像系统用于将测量体积成像到至少一个探测器的相应的一个或多个探测器表面上,例如,第一光学系统、第二光学系统和第三光学系统中的每一个可以包括至少一个成像系统,所述至少一个成像系统用于将测量体积成像到相应的至少一个第一探测器、第二探测器和第三探测器的一个或多个探测器表面上。

[0066] 至少一个成像系统可以包括一个或多个透镜。

[0067] 至少一个成像系统可以包括一个或多个成像反射镜。

[0068] 至少一个成像系统可以包括一个或多个衍射光学元件。

[0069] 至少一个成像系统可以包括至少一个望远镜,例如,包括牛顿望远镜,例如,具有200mm直径的800mm牛顿望远镜,所述望远镜用于与至少一个探测器协作以接收来自测量体积的电磁辐射。

[0070] 至少一个成像系统可以与例如Si、InGaAs等探测器(例如,包括用于从每个象限的相应输出信号的时间序列中探测飞行方向的象限探测器)耦合。

[0071] 至少一个成像系统可以包括以90度相互间隔布置的两个探测望远镜,可以从侧面和顶部观察事件(即,动物穿过测量体积),从而允许良好地重建动物在测量体积内的位置,并且可以由处理器确定飞行方向。

[0072] LIDAR系统可以具有两个或更多个探测器,以及位于例如两个探测器的前面的二向色分束器,所述两个探测器是例如用于探测 $0.19\mu\text{m}$ 至 $1\mu\text{m}$ 范围内的电磁辐射的Si探测器(例如,Si象限探测器);以及用于探测 $0.9\mu\text{m}$ 至 $1.7\mu\text{m}$ 范围内的电磁辐射的InGaAs探测器。二向色分束器适于发送SWIR电磁辐射并反射NIR电磁辐射。这些探测器还能够解析翅拍频率,条件是采样频率高于2kHz,诸如3kHz和高于3kHz,因为昆虫的基本翅拍频率至多为1kHz。

[0073] 至少一个电磁辐射源可以包括至少一个,诸如至少两个激光器,所述激光器用于发射具有相应的至少两个不同的中心波长 w_1 、 w_2 、...、 w_n 的电磁辐射,并且优选地,具有中心波长 w_1 和 w_2 以及 w_n 的所发送的电磁辐射激光束在测量体积中重合或基本上重合以便照射动物,诸如昆虫、鸟类、蝙蝠、水生生物等,其中不同中心波长 w_1 、 w_2 、...、 w_n 具有相同或基本相同的光斑尺寸和光斑中心。

[0074] 基本相同的光斑尺寸和光斑中心是指至少一个电磁辐射探测器不探测与波长为 w_1 和 w_2 、...、 w_n 的电磁辐射的不同光束路径相关的信号差异。

[0075] 光学器件和光子学领域的技术人员将知道如何设计具有两个单独波长的至少一个电磁辐射源,其以基本相同的光斑尺寸和光束中心来照射目标/有机体。

[0076] LIDAR系统可以包括发送器光学器件,所述发送器光学器件被布置用于与至少一个电磁辐射源协作,以便朝向测量体积发射电磁辐射。

[0077] 发送器光学器件可以包括用于发射至少两个不同偏振态 p_1 、 p_2 的激光束,所述激光束在测量体积中重合或基本上重合以用于照射生物体(诸如昆虫、鸟类、蝙蝠、水生生物

等),其中针对偏振态p1和p2具有相同或基本相同的光斑尺寸和光斑中心。

[0078] 发送器光学器件可以包括半波板以在系统的至少一部分中为不同偏振态p1、p2的光束提供不同的光束路径。

[0079] 发送器光学器件可以包括光学元件,其中系统被设计成使得p1或p2的光以布鲁斯特(Brewster)角发送通过光学元件。

[0080] 发送器光学器件可以包括一个或多个光束成形器,所述光束成形器中的每一个适于将相应激光束的强度分布成形成期望的分布,诸如高斯强度分布、顶帽强度分布等。

[0081] 一个或多个光束成形器可以包括光纤,所述光纤适于将光束的强度分布成形为高斯光束分布。

[0082] 一个或多个光束成形器可以包括适于对光束的强度分布(诸如高光强度分布、顶帽强度分布等)进行成形的相衬系统。

[0083] 发送器光学器件可以包括带通滤波器,所述带通滤波器与至少一个探测器协作以便抑制背景信号并且具有在至少一个电磁辐射源的波长范围内的中心波长。

[0084] 发送器光学器件可以包括望远镜,诸如直径为120mm的600mm至800mm透镜望远镜。

[0085] 处理器

[0086] 处理器可以适于对在一段时间内在测量体积中探测到的动物数量(例如昆虫的数量)进行计数。

[0087] 处理器可以适于控制至少一个电磁辐射源并且适于交替地打开和关闭至少一个电磁辐射源。

[0088] 处理器可以适于在关闭至少一个电磁辐射源时确定来自测量体积的电磁辐射的背景发射。

[0089] 处理器可以连接到至少一个摄像机,所述至少一个摄像机用于从至少一个摄像机接收图像。

[0090] 处理器可以适于对从至少一个摄像机接收的图像执行图像分析。

[0091] 处理器可以适于响应于所执行的分析来控制至少一个电磁辐射源。

[0092] 处理器可以适于对从至少一个摄像机接收的图像执行图像分析,以便监测至少一个电磁辐射源和至少一个探测器的对准。

[0093] 处理器可以适于基于在测量体积中没有动物的情况下来自至少一个探测器的至少一个输出信号来监测至少一个电磁辐射源和至少一个探测器的对准。

[0094] 处理器可以适于监测接近由至少一个电磁辐射源发射的电磁辐射的对象(例如,人类)。

[0095] 处理器可以适于关闭至少一个电磁辐射源,以防止原本由电磁辐射照射的空间中的对象(例如,人类)被无意照射。

[0096] 处理器可以适于基于从由校准器放置在测量体积中的对象接收的电磁辐射来确定数据。

[0097] 处理器可以适于控制扫描器以使测量体积沿期望的移动轨迹移动以扫描期望的体积,例如以在大于测量体积的期望体积的整体内执行测量,或者在样本体积(例如在与其中没有进行测量的体积分开的正规模式体积)中执行测量。

[0098] 处理器可以适于

- [0099] 确定至少两个波长 w_1 、 w_2 、...、 w_n 的强度并且适于
- [0100] 将所确定的强度与用于不同物种的一组参考数据进行比较,并且适于
- [0101] 基于所述比较产生关于动物的生物学特异性的信息。
- [0102] 处理器可以适于
- [0103] 确定至少两种偏振态 p_1 、 p_2 下的强度并且适于
- [0104] 将所确定的强度与用于不同物种的一组参考数据进行比较,并且适于
- [0105] 基于所述比较产生关于动物的生物学特异性的信息。
- [0106] 处理器可以适于接收来自至少一个电磁辐射探测器的数据并且适于实时分析所述数据;或可以适于在数据存储单元(诸如硬盘)上进行数据收集以用于后续分析。
- [0107] 例如,可以收集大约30000帧并将其保存在一个文件中。这意味着数据实际上是一个 30000×2048 ,16位值的阵列。以约3kHz的频率收集帧,使得每10秒保存一个文件。
- [0108] 处理器可以适于控制电磁辐射源,例如一个激光器、两个激光器等,并且在已经记录帧时关闭电磁辐射源,以及当没有从光源发射电磁辐射的帧已经被记录并从CCD或CMOS阵列读出时打开电磁辐射源。以此方式,可以分别在打开和关闭源时收集一系列交替的帧。
- [0109] 如本文所用,术语“处理器”、“中央处理器”、“信号处理器”、“控制器”、“系统”等旨在指代CPU相关的实体、硬件、硬件和软件的组合、软件或执行中的软件。
- [0110] 例如,“处理器”、“信号处理器”、“控制器”、“系统”等可以是但不限于是在处理器上运行的进程、处理器、对象、可执行文件、执行的线程和/或程序。
- [0111] 通过说明的方式,术语“处理器”、“中央处理器”、“信号处理器”、“控制器”、“系统”等指在处理器上运行的应用程序和硬件处理器。一个或多个“处理器”、“多个中央处理器”、“多个信号处理器”、“多个控制器”、“多个系统”等或其任何组合可以驻留在进程和/或执行的线程内,并且一个或多个“处理器”、“多个中央处理器”、“多个信号处理器”、“多个控制器”、“多个系统”等或其任何组合可以位于一个硬件处理器中、可能与其他硬件电路结合、和/或在分布在两个或更多个硬件处理器之间、可能与其他硬件电路结合。
- [0112] 而且,处理器或类似术语可以是能够执行信号处理的任何部件或任何部件组合。例如,处理器可以是ASIC处理器、FPGA处理器、通用处理器、微处理器、电路部件或集成电路。
- [0113] 参考数据
- [0114] 参考数据可以包括用于至少两种不同物种,诸如至少三种、至少五种、至少10种、至少100种或至少1000种的物种的数据。
- [0115] 优选地,所述一组参考数据包括以下参数中的一个或多个的用于不同物种的信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白、翅微观结构,诸如周期性和/或厚度。通过这些参数中的一个但优选更多个,例如可以确定昆虫、鸟、蝙蝠或水生生物的颜色作为物种、性别和/或年龄的指示符。此外,通过这些参数中的一个但优选更多个,例如可以确定蚊子是否已经进食(例如,咬或吸血),即其是否可能感染疟疾并构成风险。
- [0116] 优选地,所述一组参考数据包括用于一个或多个以下参数的用于不同物种的光谱差分吸收信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白和翅微观结构,例如周期性和/或厚度。优选地,所述一组参考数据包括用于一个或多个以下参数的用于不同物种的偏振相关吸收和/或反射信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白和翅微观结构,例如周期性和/或厚度。

[0117] 优选地,所述一组参考数据包括不同物种的差分光谱吸收数据。在优选实施方案中,所述一组参考数据包括不同物种的差分偏振吸收和/或反射数据。

[0118] 优选地,参考数据还包括关于物种的性别和/或年龄的信息。

[0119] 优选地,所述一组参考数据是通过在具有预定物种的昆虫的昆虫馆(也称为昆虫室)中操作于空中动物群的LIDAR而获得的。可替代地,所述一组参考数据是通过在具有预定物种的鸟类和/或蝙蝠的区域中操作于空中动物群的LIDAR,和/或通过操作LIDAR(其中例如经由摄像机和成像技术或经由RADAR技术同时确定鸟类和/或蝙蝠的物种)而获得的。可替代地,所述一组参考数据是通过在具有预定物种的水生生物的水族箱中的操作于水生动物群的LIDAR而获得的。

[0120] 优选地,提供了一种方法,所述方法通过在包括至少一种预定物种(例如至少两种、至少三种、至少三种、至少五种、至少10种、至少100种、或至少1000种的预定物种)的昆虫馆中应用用于空中动物群的LIDAR系统来产生一组生物学特异性数据作为所述一组参考数据。

[0121] 所述一组参考数据或所述一组参考数据的一部分可以嵌入在LIDAR系统的处理器单元内。

[0122] 可以经由诸如互联网的广域网利用提供计算能力的云计算、数据库存储、应用程序等远程访问所述一组参考数据或所述一组参考数据的一部分。

[0123] Lidar系统

[0124] LIDAR系统可以包括用于支撑LIDAR系统的各个部分的机械框架,所述部分例如是发送器壳体,所述发送器壳体安装到框架、用于容纳至少一个电磁辐射源;并且所述部分例如是至少一个接收器壳体,所述至少一个接收器壳体安装到框架、用于容纳至少一个电磁辐射探测器。

[0125] 框架可以包括例如铝的大梁。

[0126] 发送器壳体和至少一个接收器壳体可以安装到大梁。

[0127] LIDAR系统可以包括至少一个摄像机,所述至少一个摄像机被布置用于监测LIDAR系统,例如LIDAR系统的测量体积。

[0128] 至少一个摄像机可以包括至少一个行扫描摄像机。

[0129] LIDAR系统可以包括至少一个摄像机壳体,所述至少一个摄像机壳体用于容纳至少一个摄像机和/或行扫描摄像机,并安装到框架。

[0130] LIDAR系统可以包括扫描器,所述扫描器被布置用于移动框架,例如,使框架平移和/或倾斜和/或俯仰和/或来回移动,并由此移动测量体积。

[0131] LIDAR系统可以包括被布置用于将具有已知光学特性的对象放置在测量体积中的校准器。

[0132] LIDAR系统可以包括诱捕器和拍摄在诱捕器中收集的昆虫的照片的摄影单元。诱捕器和摄影单元用于向系统提供附加信息,诸如以用于验证、质量或参考目的或这些的组合。

[0133] LIDAR系统可以是便携式的。

[0134] LIDAR系统可以包括

[0135] 发送器单元,所述发送器单元发射激光,

- [0136] 接收器单元,所述接收器单元接收激光的反向散射部分,以及
- [0137] 处理器单元,例如数据处理或计算单元,所述处理器单元被编程为分析反向散射光并产生生物体(诸如动物,诸如昆虫、鸟类、蝙蝠或水生生物(例如浮游生物或鲷属))的一组观测值。
- [0138] 发送器单元可以适于以至少两个波长 w_1 和 w_2 、...、 w_n 发射激光,并且接收器单元可以适于分别测量 w_1 和 w_2 、...、 w_n 的光,并且处理器单元(作为分析的一部分)可以适于计算每次观测的在 w_1 和 w_2 以及 w_n 处的吸收差异,并产生关于生物体(例如,动物)的生物学特异性的信息。
- [0139] LIDAR系统可以包括
- [0140] 发送器单元,所述发送器单元发射激光,
- [0141] 接收器单元,所述接收器单元接收激光的反向散射部分,以及
- [0142] 处理器单元,例如数据处理或计算单元,所述处理器单元被编程为分析反向散射光并产生生物体(诸如动物,诸如昆虫、鸟类、蝙蝠或水生生物(例如浮游生物或鲷属))的一组观测值。
- [0143] 发送器单元可以适于以至少两个偏振态 p_1 和 p_2 发射激光,和/或接收器单元可以适于分别测量两个偏振态 p_1 和 p_2 下的光,并且处理器单元(作为分析的一部分)可以适于计算每次观测的吸收和/或反射差异,并产生关于生物体(例如,动物)的生物学特异性的信息。
- [0144] LIDAR系统可以包括
- [0145] 发送器单元,所述发送器单元发射激光,
- [0146] 接收器单元,所述接收器单元接收激光的反向散射部分,以及
- [0147] 处理器单元,例如数据处理或计算单元,所述处理器单元被编程为:
- [0148] 分析反向散射光并产生生物体(诸如动物,诸如昆虫、鸟类、蝙蝠或水生生物(例如浮游生物或鲷属))的一组观测值。
- [0149] 发送器单元可以适于以至少两个波长 w_1 和 w_2 、...、 w_n 发射激光,并且接收器单元可以适于分别测量 w_1 和 w_2 以及 w_n 的光,并且处理器单元(作为分析的一部分)可以适于计算每次观测的在 w_1 和 w_2 以及 w_n 处的吸收差异,并且适于将计算结果与不同物种的一组参考数据进行比较,并且适于基于所述比较产生关于生物体(例如,动物)的生物学特异性的信息。
- [0150] LIDAR系统可以包括
- [0151] 发送器单元,所述发送器单元发射激光,
- [0152] 接收器单元,所述接收器单元接收激光的反向散射部分,以及
- [0153] 处理器单元,例如数据处理或计算单元,所述处理器单元被编程为分析反向散射光并产生生物体(诸如动物,诸如昆虫、鸟类、蝙蝠或水生生物(例如浮游生物或鲷属))的一组观测值。
- [0154] 发送器单元可以适于以至少两个偏振态 p_1 和 p_2 发射激光,和/或接收器单元可以适于分别测量两个偏振态 p_1 和 p_2 下的光,并且处理器单元(作为分析的一部分)可以适于计算每次观测的吸收和/或反射差异,并且适于将计算结果与不同物种的一组参考数据进行比较,并且适于基于所述比较产生关于生物体(例如,动物)的生物学特异性的信息。
- [0155] 参考数据可以包括用于至少两种不同物种、诸如至少三种、至少五种、至少10种、

至少100种或至少1000种的物种的,。

[0156] 数据分析

[0157] 处理器可以适于对在一段时间内在测量体积中探测到的动物数量(例如昆虫的数量)进行计数。

[0158] 处理器可以进一步适于提取每个动物(例如,每个昆虫)的数据,诸如翅拍振荡、球形散射系数(大小)、特定分子(诸如黑色素、蜡、几丁质或血红蛋白)的光域中的光谱信息、以及微观结构(诸如翅膜厚度)的光域中的光谱信息。

[0159] 来自昆虫的散射处理涉及漫反射和镜面反射。镜面反射可以来自身体或翅膀,这取决于物种的类型以及昆虫的身体和翅膀的性质。如果昆虫具有毛茸茸的身体和光泽翅、或相反,则总散射截面将是漫反射和镜面反射的组合。这可以分解成不同的分量以识别身体和翅的贡献。通常,镜面反射和漫反射有助于总光学截面OCS。来自翅的镜面反射是高阶谐波的原因。基音和低次谐波表示漫反射。

[0160] 在发射多于一个波长的LIDAR系统中,可以例如由处理器确定测量体积中动物的色彩特性。

[0161] 还可以例如由处理器确定彩虹色特征,例如,通过比较可见范围VIS中接收的电磁辐射与近红外范围NIR中的电磁辐射的时间波形的形状。

[0162] 还可以例如由处理器确定黑化特性,例如,通过比较NIR范围和SWIR范围内的昆虫OCS,因为NIR和SWIR范围之间的光学截面比与黑化成比例。

[0163] 与NIR相比,昆虫大小的确定在SWIR范围内更准确,因为NIR OCS取决于昆虫的黑化程度,而SWIR OCS对昆虫黑化相对不敏感。

[0164] 黑色素是决定昆虫身体和翅膀的颜色的天然色素或发色团。黑化在VIS中产生黑色或褐色外观。这是由于入射光与组织相互作用的多次反射。这种效应可能在确定紫外线(UV)、VIS和NIR中的昆虫的绝对光学截面OCS时引入某种不确定性。SWIR对黑化不敏感。考虑到NIR与SWIR之间的差异,不同颜色和相同尺寸的昆虫的反射可能取决于所使用的探测器或所选择的探测波长而不同。VIS和UV中存在除黑化之外的其他着色机制,诸如隐秘着色、警告颜色、性别选择颜色、结构颜色等。这些效果对NIR几乎没有影响,并且因此黑化优选例如通过处理器由两个频段NIR和SWIR中的OCS(例如,反向散射OCS)的比率确定,而不是由两个频段VIS和SWIR中的OCS比率确定。

[0165] 可以例如由处理器根据以下等式计算黑化:

[0166]
$$\text{Melanisation} = 1 - [(\text{OCS}_{\text{NIR}}) / (\text{OCS}_{\text{SWIR}} + \text{OCS}_{\text{NIR}})]$$

[0167] 其中

[0168] OCS_{NIR} 和 OCS_{SWIR} 分别是NIR范围和SWIR范围内的OCS。

[0169] 昆虫的身体和翅膀对总OCS的贡献可以由处理器使用具有翅拍周期宽度的滑动时间最小滤波器区分并确定滑动最小值的峰值,并且由此限定非振荡身体对总OCS的贡献。

[0170] 在高频率的情况下,可以通过例如计算调制功率谱来解决翅拍调制以及更高阶谐波,所述调制功率谱包括测量体积中的昆虫观测的非振荡身体贡献、基本翅拍频率及其谐波泛音。基频可以是根据功率谱中峰值之间的距离的中值估算的。奇次和偶数谐波的相对强度可以用于例如由处理器确定观察到的昆虫定向并最终确定飞行方向。根据昆虫模型,在一个翅拍周期(强 2ω)期间昆虫从侧面看起来大两倍,并且在一个翅拍周期(强 1ω)期间

看起来大一倍。这意味着总OCS振荡取决于昆虫的类型和观察到的昆虫的定向。

[0171] 下面公开了利用LIDAR系统进行昆虫探测的数据分析的实例。

[0172] 至少一个电磁辐射探测器可以包括CCD或CMOS阵列,例如线性CCD或CMOS阵列,例如具有2048个像素的线性CCD或CMOS阵列,其中CCD或CMOS阵列的每个像素被布置用于接收来自测量体积的特定部分的电磁辐射。每个像素的CCD或CMOS元件响应于由CCD或CMOS元件接收的电磁辐射(即入射在其上的电磁辐射)的强度对电容器充电,使得在每个时间点,电容器的电荷量对应于所接收的电磁辐射的整体强度。CCD或CMOS阵列的电容器的整组电荷以规则的间隔输出并表示为帧。在读出电容器电荷值时,电容器被重置为零电荷。

[0173] 处理器可以适于接收帧并且适于实时分析所述帧或可以适于在数据存储器(诸如硬盘)上进行数据收集以用于后续分析。

[0174] 例如,收集大约30000帧并将其保存在一个文件中。这意味着数据实际上是一个30000x2048,16位值的阵列。以约3kHz的频率收集帧,使得每10秒保存一个文件。

[0175] 处理器进一步适于控制电磁辐射源,例如一个激光器、两个激光器等,并且在已经记录帧时关闭电磁辐射源,以及当没有从光源发射电磁辐射的帧已经被记录并从CCD或CMOS阵列读出时打开电磁辐射源。以此方式,可以在打开和关闭源时收集一系列交替的帧。

[0176] 所收集的数据例如由处理器进行处理,如下:

[0177] 1. 背景减法

[0178] 2. 统计

[0179] 3. 事件的阈值处理

[0180] 4. 事件分组

[0181] 5. 提取事件

[0182] 6. 量化事件

[0183] 以下简要介绍这些步骤。

[0184] 背景减法

[0185] 随打开和关闭激光器的一系列交替帧用于减去源自例如太阳光的背景。这是通过从激光器打开的帧(并还表示为亮帧)中减去没有激光器的帧(也表示为暗帧)来完成的。目前,减去直接在亮帧之后的暗帧。在下文中,背景减去数据表示为“信号”。

[0186] 可选地,可以在减去之前对暗帧执行滑动窗口平均以便获得降噪。

[0187] 统计

[0188] 根据该信号,恢复了随后用于确定何时发生事件(例如,测量体积中的对象)的一些统计数据。

[0189] 事件是罕见的,并且因此预期的噪音并不能很好地对其描述。

[0190] 处理器可以执行以下步骤:

[0191] 对于每帧像素:

[0192] 1. 确定每个像素处的信号的中值

[0193] 2. 选择值低于中值的所有数据

[0194] 3. 确定低于中值的值的标准偏差

[0195] 假设信号包括正常分布的噪声和附加的罕见事件。中值对罕见事件具有很强的抵抗力,并且很好地测量正态分布的峰值。通过确定正态分布的下半部分的标准偏差,罕见事

件不会产生偏差,并且可以确定噪声的标准偏差。

[0196] 阈值处理

[0197] 通过假设它们将比高于中值的标准偏差强 N 倍而选择罕见事件。目前优选的是,使用高于中值的 $N=6$ 个标准偏差,但是这可以改变。在帧的每个像素处,确定中值和标准偏差,并且在二进制矩阵 B 中标记高于中值 $+N*$ 标准偏差的值。事件分组

[0198] 因为噪声可以在二进制矩阵中产生实际属于相同事件的小且紧密间隔的岛,所以执行平滑处理。这是通过利用具有可调宽度(沿着距离轴)和高度(沿着时间轴)的2D高斯函数对信号 $*B$ 进行卷积来执行的。随后,将该矩阵中高于阈值 T 的所有内容标记为事件。这些值被放入掩模矩阵 M 中。高斯的宽度和阈值不是非常敏感的值,高斯的FWHM为几个像素并且阈值是常数(例如,等于5)。

[0199] 事件编号

[0200] 事件是掩模矩阵 M 中的连接区域,标准算法用于对这些连接区域(`scipy.ndimage.label`)进行编号。

[0201] 量化事件

[0202] 事件现在已经被识别并可以被进一步量化。可以针对每个事件确定至少一个参数中的若干参数并将其存储在数据库中。

[0203] 光学截面检索

[0204] 每个事件的至少一个参数中的一个重要参数是产生信号的测量体积中的动物的光学截面(OCS),其是具有相同信号强度的白色朗伯(Lambertian)反射体的等效面积。该过程的第一步是获得校准标准,例如通过以下方式获得:

[0205] 1.通过具有已知反射的终止点。终止点具有已知距离并反射整个光束,因此它具有已知的横截面。

[0206] 2.在光束中使用另一个已知的反射对象,例如具有已知的反射和大小、沿路径位于已知距离的某处的小球体。

[0207] 3.通过将具有通过光束的已知OCS的对象丢弃来偶尔校准设置,这可以在任何已知位置处完成或者可以在每个像素处完成。

[0208] 在测量校准的情况下,信号可以与OCS直接相关,假设信号与到对象的平方距离成反比地减小,并且灵敏度在所有距离处都是恒定的。后者并不明显,目前正在研究补偿这种灵敏度差异的方法。最好的方法可能依赖于空气信号的测量值,即来自空气中的灰尘或湿气的散射。

[0209] 其他参数

[0210] 一旦检索到OCS,就可以确定其他参数,诸如事件长度和范围,以及散射光的总量、峰值强度、其在时间和范围内的质心。还可以确定昆虫的翅拍频率和彩虹色特征。可以包括其他参数。

[0211] 检索谐波内容

[0212] 可以执行对表现出翅拍特性的事件的进一步分析。可以使用滑动最小滤波器来分离翅和身体对信号的贡献。倒谱分析可用于检索基波。可以执行信号和谐波的重建,从而将具有振幅 a_k 的 k 次谐波与乘以身体贡献的谐波系列拟合。

[0213] 时间相关散射的重建可以包括使用小波变换。

[0214] 可以包括偏振敏感探测以改善身体信号的重建并因此改善身体/翅分离的重建。

[0215] 可以利用滑动窗口(例如,具有先进先出结构的矩阵)来实时地执行统计测量和阈值处理。

[0216] 用途

[0217] LIDAR系统可以用于农学。农业集约化和农药使用对空中生态有深远的影响。然而,鉴于监测技术的局限性,对空中动物群组成的影响尚不清楚。

[0218] 有利地,LIDAR系统或方法在农场或类似场所用于例如智能耕作、精细农业、综合虫害管理、环境影响评估、智能缩减等,以便与前几年使用农药和/或农用化学品相比,减少农药和/或农用化学品的使用。“前几年”是指农药和/或农用化学品在1年内,可替代地在3年、5年或10年内的年平均使用量。

[0219] 本发明提供了一种用于优化农业中的农药使用的方法。所述方法包括以下步骤:使用LIDAR系统测量一种、两种或更多种物种的昆虫,分析来自测量的数据,以及确定期望的农药、喷洒时间、喷洒安排和/或喷洒量。

[0220] 本发明提供了一种用于优化使用农用化学品的方法。所述方法包括以下步骤:使用LIDAR系统测量一种、两种或更多种物种的昆虫,分析来自测量的数据,以及确定期望的农用化学品、喷洒时间、喷洒安排和/或喷洒量。优选地,所述方法是自动的并且还包括用于确定喷洒参数(例如农药、化学品、量、时间或安排)的昆虫和农药和/或农用化学品信息的数据库。

[0221] 有利地,LIDAR系统用于与数字害虫和疾病建模平台交换测量数据。

[0222] 有利地,LIDAR系统可以用于疟疾控制。现在,监测疟疾蚊子方面的主要限制是:昆虫丰度评估是基于昆虫诱捕器。放置和清空诱捕器是繁琐的操作并构成一项重大努力,并且结果相对于所捕获的物种、性别和年龄组有偏差。

[0223] LIDAR系统可以用于疟疾蚊子监视,并且使得能够进行非侵入性的现场监测(例如,对疟疾蚊子的现场监测),从而改善对国家疟疾控制计划的决策支持。

[0224] 有利地,LIDAR系统可以用于风力发电厂的鸟和蝙蝠探测。鸟类监测的具有挑战性的任务在于识别高海拔迁徙鸟类和性别。

[0225] 风力发电厂操作员可以使用LIDAR系统以便确定操作的关键时间和/或操作停止的时间。

[0226] 有利地,LIDAR系统可以在确定最佳操作位置之前用于风力发电厂的开发者,由此可以考虑迁徙鸟类和/或濒危蝙蝠的信息。

[0227] 有利地,LIDAR系统可以用于水生应用,例如养鱼业。水产养殖生产系统可能遭受不希望的水生生物,诸如海虱和偏盖螺属。越来越多的问题是用于减少鱼病的化学处理、过量抗生素使用和抗性。这对环境产生负面影响,诸如藻类繁殖、海洋哺乳动物死亡、海洋垃圾和海底垃圾。

[0228] 有利地,LIDAR系统提供用于分析水生生物的新工具,并且可以用于减少养鱼场和水产养殖生产中的化学品的使用。

[0229] 有利地,LIDAR系统可以用于经由叶绿素的荧光监测植被/海底。

[0230] 利用LIDAR系统和方法,改进的昆虫特异性测定是原位进行的。

[0231] 利用LIDAR系统和方法,可以相对于至少两种物种(诸如超过三种、超过五种、超过

十种、超过100种或超过1000种的物种)的生物学特异性进行空中或水生动物群的量化。

附图说明

[0232] 附图示出实施方案的设计和效用,其中类似的元件由共同的附图标记指代。这些附图不一定按比例绘制。为了更好地理解如何获得上述和其他优点和目的,将呈现实施方案的更具体的描述,所述实施方案在附图中示出。这些附图仅描绘典型的实施方案,并且因此不应视为限制其范围。

[0233] 在附图中:

[0234] 图1示意性地示出新的LIDAR系统的各个部分,

[0235] 图2示意性地示出具有单一激光器并根据沙氏(Scheimpflug)原理进行操作的新的LIDAR系统,

[0236] 图3示意性地示出图2的具有添加的摄像机的LIDAR系统,

[0237] 图4示意性地示出具有牛顿望远镜的新的LIDAR系统,

[0238] 图5示意性地示出具有单一激光器和两个探测器的新的LIDAR系统,

[0239] 图6示意性地示出具有牛顿望远镜和摄像机的新的LIDAR系统,

[0240] 图7示意性地示出具有两个激光器和根据沙氏原理进行操作的两个探测器的新的LIDAR系统,

[0241] 图8是利用新的LIDAR系统确定并分类动物群的流程图,

[0242] 图9示出用于昆虫的参考测量的LIDAR系统的示意性图示,

[0243] 图10示出探测器信号的绘图,

[0244] 图11示出探测到的昆虫数量的直方图,以及

[0245] 图12示出展示了特定蚊子的标识的直方图。

具体实施方式

[0246] 现在将参考附图在下文中更全面地描述LIDAR系统和对应方法,在所述附图中示出了各种类型的LIDAR系统。LIDAR系统可能以附图中未示出的不同形式体现,并且不应当被解释为限于本文阐述的实施方案和实例。应当注意的是,附图未按比例绘制并且在所有附图中相似结构或功能的元件由相同的附图标记表示。还应当注意的是,附图仅旨在有助于实施方案的描述。它们不旨在作为根据所附权利要求的LIDAR系统和方法的详尽描述,或者作为对权利要求范围的限制。此外,所示实施方案不需要具有所示的所有方面或优点。结合特定实施方案描述的方面或优点不必限于该实施方案,并且即使没有如此示出,或者没有如此明确地描述,也可以在任何其他实施方案中实践。

[0247] 图1示意性地示出根据所附权利要求集合的用于分析动物群的新LIDAR系统10的各个部分。

[0248] 所示LIDAR系统10包括:

[0249] 具有发送器壳体12的发送器单元,所述发送器壳体12容纳至少一个电磁辐射源(不可见),所述发送器单元适于向测量体积发射电磁辐射以照射测量体积中的动物;

[0250] 具有接收器壳体14的接收器单元,所述接收器壳体14容纳至少一个电磁辐射探测器(不可见),所述接收器单元被配置用于响应于接收到与测量体积中的动物相互作用的电

磁辐射而提供至少一个输出信号；

[0251] 具有摄像机壳体16的摄像机单元,所述摄像机单元容纳摄像机(不可见),所述摄像机单元用于LIDAR系统的正确对准并任选地用于监测发射和接收的电磁辐射的传播路径;

[0252] 呈大梁24的形式的框架18,所述框架18支撑发送器壳体12、接收器壳体14和摄像机壳体16;

[0253] 扫描器20,所述扫描器20连接到框架18并被布置用于移动框架18,例如使框架18平移和/或倾斜和/或俯仰和/或来回移动并由此移动测量体积,例如以沿期望的移动轨迹扫描期望的体积,例如以在大于测量体积的期望体积的整体内执行测量,或者在样本体积(例如与没有进行测量的体积分开的正规模式体积)中执行测量;以及

[0254] 具有处理器的处理器单元22,所述处理器单元22适于基于来自接收器壳体14中的探测器的至少一个输出信号,

[0255] ○探测测量体积中的动物,

[0256] ○对所探测的动物进行计数,以及

[0257] ○确定与动物物种相关的已接收电磁辐射的至少一个参数。

[0258] 在图1中,LIDAR系统10被示为具有框架18,所述框架18具有水平大梁24;然而,LIDAR系统10也可以用垂直大梁24的定向;或者,大梁24具有处于垂直与水平之间某处的定向。

[0259] 在所示的LIDAR系统的一个实例中,发送器壳体12与接收器壳体14之间的距离是800mm,并且壳体12、14被布置成使得测量体积的近端位于与LIDAR系统10相距20m的位置处并且测量体积的远端位于与离LIDAR系统10相距800m的位置处。

[0260] 在所示系统10的第一种类型中,发送器壳体12容纳激光器以用于发射波长在NIR范围内的激光束,例如波长范围为750nm至1400nm。

[0261] 在所示系统10的第二种类型中,发送器壳体12容纳激光器以用于发射波长在SWIR范围内的激光束,例如波长范围为1400nm至3000nm。

[0262] 在所示系统10的第三种类型中,发送器壳体12容纳用于发射波长在NIR范围内的激光束的第一激光器以及用于发射波长在SWIR范围内的激光束的第二激光器。

[0263] 在所示系统10的多种其他类型中,发送器壳体12可以容纳各种类型和以各种组合的一个或多个电磁辐射源。

[0264] 所示LIDAR系统10可以具有一个电磁辐射源,例如发射多个波长的电磁辐射(例如,由于谐波的发射)。

[0265] 附加地或可替代地,所示LIDAR系统10可以具有多于一个的电磁辐射源,并且发送器壳体12可以容纳发送器光学器件(不可见),所述发送器光学器件被布置成使得来自不同源的电磁辐射在测量体积中重合或基本上重合以用于照射生物体(诸如昆虫、鸟类、蝙蝠、水生生物等),例如,针对不同的相应波长 w_1 、 w_2 、...、 w_n 具有相同或基本相同的光斑尺寸和光斑中心。

[0266] “基本上”是指容纳在接收器壳体14中的接收器(不可见)没有经历与电磁辐射 w_1 、 w_2 、...、 w_n 的不同传播路径相关的信号的差异。

[0267] 优选地,从容纳在发送器壳体12中的相同和/或不同源发射的电磁辐射 w_1 、

w₂、...、w_n以至少100nm分开。例如,出于眼睛安全的原因,w₁和w₂可以是近红外波长,例如w₁可以等于或约等于808nm并且w₂可以等于或约等于980nm;或者,w₁可以等于或约等于980nm并且w₂可以等于或约等于1550nm。

[0268] 在所示LIDAR系统10的一种类型中,发送器壳体容纳两个单独连续波(CW)激光器。

[0269] 在所示LIDAR系统10的一种类型中,发送器壳体容纳一个二极管激光器。

[0270] 在所示LIDAR系统10的一种类型中,发送器壳体容纳二极管激光器阵列。

[0271] 在所示LIDAR系统10的一种类型中,发送器壳体容纳超连续谱源。

[0272] 可选地,所示LIDAR系统10的发送器壳体12容纳发送器光学器件(不可见)以用于发射至少两个不同偏振态p₁、p₂的电磁辐射光束;其中所述光束在测量体积中重合或基本上重合以用于照射生物体(诸如昆虫、鸟类、蝙蝠、水生生物等),其中分别具有偏振态p₁和p₂的光束的光斑尺寸和光斑中心是相同或基本相同的。

[0273] 可选的发送器光学器件包括半波板以在系统10的至少一部分中为不同偏振态p₁、p₂的光束提供不同的光束路径。

[0274] 可选的发送器光学器件包括光学元件,其中系统被设计成使得p₁或p₂的光以布鲁斯特(Brewster)角发射通过光学元件。

[0275] 可选地,发送器壳体12容纳一个或多个光束成形器(不可见),所述光束成形器中的每一个适合于将相应激光束的强度分布成形成期望的分布(诸如高斯强度分布、顶帽强度分布等)。一个或多个光束成形器可以包括适于将光束的强度分布成形为高斯光束分布的光纤。一个或多个光束成形器可以包括适于对光束的强度分布(诸如高光强度分布、顶帽强度分布等)进行成形的相衬系统。

[0276] 所示LIDAR系统10包括具有接收器壳体14的接收器单元,所述接收器壳体14容纳至少一个电磁辐射探测器(不可见),所述接收器单元被配置用于响应于接收到已与测量体积中的动物相互作用的电磁辐射而提供至少一个输出信号。所述至少一个探测器适合于探测由至少一个电磁辐射源发射的辐射。

[0277] 优选地,至少一个探测器包括半导体探测器。

[0278] 在所示系统10的第一种类型中,接收器壳体14容纳Si探测器(例如,象限Si探测器)以用于探测波长在NIR范围内的电磁辐射。

[0279] 在所示系统10的第二种类型中,接收器壳体14容纳InGaAs探测器以用于探测波长在SWIR范围内的电磁辐射。

[0280] 在所示系统10的第三种类型中,接收器壳体14容纳Si探测器和InGaAs探测器两者以及位于两个探测器前方的电磁辐射传播路径中的二向色分束器。二向色分束器适于发送SWIR电磁辐射并反射NIR电磁辐射。

[0281] 象限探测器使得能够基于每个象限的输出时间来探测动物通过测量体积的移动方向。

[0282] 在所示系统10的多种其他类型中,接收器壳体14可以容纳适合于探测由发送器单元发射的电磁辐射的各种类型和各种组合的一个或多个探测器。

[0283] 接收器壳体14可以容纳与容纳在壳体中的探测器协作的牛顿望远镜(不可见),以用于接收来自测量体积的电磁辐射。

[0284] 接收器单元的接收器壳体14可以被布置用于接收来自测量体积的反向散射的电磁辐射。

[0285] 接收器单元的接收器壳体14可以被布置用于从与驻留发送器壳体12中的电磁辐射源所发射的电磁辐射的传播方向不同的角度接收来自测量体积的电磁辐射。

[0286] 可选地,接收器壳体14包括光学系统(不可见),所述光学系统被布置用于与接收器壳体14中的探测器协作以用于将所接收的电磁辐射从沿着从发送器壳体12发射的激光束的区域引导到接收器壳体14的接收器上。例如,接收器壳体14包括成像系统(不可见),所述成像系统被布置用于通过将沿着所发射的激光束的区域的电磁辐射成像到接收器壳体14的接收器上、根据沙氏(Scheimpflug)原理与接收器壳体14中的探测器协作。

[0287] 可选地,接收器壳体14容纳具有2048个像素的线性CCD或CMOS阵列,其中CCD或CMOS阵列的每个像素被布置用于接收来自测量体积的特定部分的电磁辐射。每个像素的CCD或CMOS元件响应于由CCD或CMOS元件接收的电磁辐射(即入射在其上的电磁辐射)的强度对电容器充电,使得在每个时间点,电容器的电荷量对应于所接收的电磁辐射的整体强度。CCD或CMOS阵列的电容器的总共2048个充电以规则的间隔输出并表示为帧。在读出电容器电荷值时,电容器被重置为零电荷。

[0288] 测量体积是光学系统在接收器上成像的已发射电磁辐射的一部分。以此方式,还可以确定从LIDAR系统到在测量体积中探测到的动物的距离。

[0289] 可选地,接收器壳体14容纳一个或多个带通滤波器,所述带通滤波器与也容纳在接收器壳体14中的探测器协作以用于抑制来自测量体积的背景信号并且具有在容纳在发送器壳体12中的电磁辐射源的波长范围内的中心波长。

[0290] 来自昆虫的散射涉及漫反射和镜面反射。镜面反射可以来自身体或翅膀,这取决于物种的类型以及昆虫的身体和翅膀的性质。如果昆虫具有毛茸茸的身体和光泽翅、或相反,则总散射截面将是漫反射和镜面反射的组合。这可以分解成不同的分量以识别身体和翅的贡献。通常,镜面反射和漫反射有助于总光学截面OCS。来自翅的镜面反射是高阶谐波的原因。基音和低次谐波表示漫反射。

[0291] 在发射多于一个波长的所示LIDAR系统10的类型中,可以确定测量体积中动物的色彩特性。

[0292] 还可以确定彩虹色特征,例如,通过比较可见范围VIS中接收的电磁辐射与近红外范围NIR中的电磁辐射的时间波形的形状。

[0293] 还可以确定黑化特性,例如,通过比较NIR范围和SWIR范围内的昆虫OCS,因为NIR和SWIR范围之间的光学截面比与黑化成比例。

[0294] 与NIR相比,昆虫大小的确定在SWIR范围内更准确,因为NIR OCS取决于昆虫的黑化程度,而SWIR OCS对昆虫黑化相对不敏感。

[0295] 黑色素是决定昆虫身体和翅膀的颜色的天然色素或发色团。黑化在VIS中产生黑色或褐色外观。这是由于入射光与组织相互作用的多次反射。这种效应可能在确定紫外线(UV)、VIS和NIR中的昆虫的绝对光学截面OCS时引入某种不确定性。SWIR对黑化不敏感。考虑到NIR与SWIR之间的差异,不同颜色且相同尺寸的昆虫的反射可能取决于所使用的探测器或所选择的探测波长而不同。VIS和UV中存在除黑化之外的其他着色机制,诸如隐秘着色、警告颜色、性别选择颜色、结构颜色等。这些效果对NIR几乎没有影响,并且因此黑化优

选由两个频段NIR和SWIR中的OCS (例如,反向散射OCS) 的比率确定,而不是由两个频段VIS和SWIR中的OCS比率确定。

[0296] 可选地,处理器单元22的处理器适于根据以下等式确定黑化:

$$[0297] \quad \text{黑化} = 1 - [(OCS_{NIR}) / (OCS_{SWIR} + OCS_{NIR})]$$

[0298] 其中

[0299] O_{NIR} 和 O_{SWIR} 分别是NIR和SWIR范围内的OCS。

[0300] 可选地,处理器单元22的处理器适于使用具有翅拍周期宽度的滑动时间最小滤波器并确定滑动最小值的峰值来确定昆虫的身体和翅对总OCS的贡献,并且由此限定非振荡身体对总OCS的贡献。

[0301] 在高采样频率的情况下,可选地,处理器单元22的处理器适于通过计算调制功率谱来确定翅拍调制以及更高阶谐波,所述调制功率谱包括测量体积中的昆虫观测的非振荡身体贡献、基本翅拍频率及其谐波。基频是根据功率谱中峰值之间的距离的中值估算的。奇次和偶数谐波的相对强度用于确定观察到的昆虫定向并最终确定飞行方向。根据昆虫模型,在一个翅拍周期(强 2ω)期间昆虫从侧面看起来大两倍,并且在一个翅拍周期(强 1ω)期间看起来大一倍。这意味着总OCS振荡取决于昆虫的类型和观察到的昆虫的定向。

[0302] 以下公开了用于昆虫探测的可选数据分析,其中所示LIDAR系统10具有线性CCD或CMOS阵列。

[0303] 处理器单元22的处理器适于接收CCD或CMOS阵列的帧并用于实时分析帧或适于在数据存储单元(诸如硬盘)上进行数据收集以用于后续分析。

[0304] 例如,收集大约30000帧并将其保存在一个文件中。这意味着数据实际上是一个 30000×2048 ,16位值的阵列。以约3kHz的频率收集帧,使得每10秒保存一个文件。

[0305] 处理器单元22的处理器还适于控制电磁辐射源,例如一个激光器、两个激光器等,并且在已经记录帧时关闭电磁辐射源,以及当没有从光源发射电磁辐射的帧已经被记录并从CCD或CMOS阵列读出时打开电磁辐射源。以此方式,可以随着打开和关闭源收集一系列交替的帧。

[0306] 处理器单元22的处理器可以适于如下处理所收集的数据:

[0307] 1. 背景减法

[0308] 2. 统计

[0309] 3. 事件的阈值处理

[0310] 4. 事件分组

[0311] 5. 提取事件

[0312] 6. 量化事件

[0313] 以下简要介绍这些步骤。

[0314] 背景减法

[0315] 随打开和关闭激光器的一系列交替帧用于减去源自例如太阳光的背景。这是通过从激光器打开的帧(并还表示为亮帧)中减去没有激光器的帧(也表示为暗帧)来完成的。目前,减去直接在亮帧之后的暗帧。在下文中,背景减去数据表示为“信号”。

[0316] 可选地,可以在减去之前对暗帧执行滑动窗口平均以便获得降噪。

[0317] 统计

[0318] 根据该信号,恢复了随后用于确定何时发生事件(例如,测量体积中的对象)的一些统计数据。

[0319] 事件是罕见的,并且因此预期的噪音并不能很好地对其描述。

[0320] 对于每帧像素:

[0321] 1. 确定每个像素处的信号的中值

[0322] 2. 选择值低于该中值的所有数据

[0323] 3. 确定低于中值的值的标准偏差

[0324] 假设信号包括正常分布的噪声和附加的罕见事件。中值对罕见事件具有很强的抵抗力,并且很好地测量正态分布的峰值。通过确定正态分布的下半部分的标准偏差,罕见事件不会产生偏差,并且可以确定噪声的标准偏差。

[0325] 阈值处理

[0326] 通过假设它们将比高于中值的标准偏差强N倍而选择罕见事件。目前优选的是,使用高于中值的 $N=6$ 的标准偏差,但是这可以改变。在帧的每个像素处,确定中值和标准偏差,并且在二进制矩阵B中标记高于中值 $+N*$ 标准偏差的值。事件分组

[0327] 因为噪声可以在二进制矩阵中产生实际属于相同事件的小且紧密间隔的岛,所以执行平滑处理。这是通过利用具有可调宽度(沿着距离轴)和高度(沿着时间轴)的2D高斯函数对信号*B进行卷积来执行的。随后,将该矩阵中高于阈值T的所有内容标记为事件。这些值被放入掩模矩阵M中。高斯的宽度和阈值不是非常敏感的值,高斯的FWHM为几个像素并且阈值是常数(例如,等于5)。

[0328] 事件编号

[0329] 事件是掩模矩阵M中的连接区域,标准算法用于对这些连接区域(scipy.ndimage.label)进行编号。

[0330] 量化事件

[0331] 事件现在已经被识别并可以被进一步量化。为每个事件确定若干参数并将其存储在数据库中。

[0332] 光学截面检索

[0333] 每个事件的一个重要参数是产生信号的测量体积中的动物的光学截面(OCS),其是具有相同信号强度的白色朗伯(Lambertian)反射体的等效面积。该过程的第一步是获得校准标准,例如通过以下方式获得:

[0334] 1. 通过具有已知反射的终止点。终止点具有已知距离并反射整个光束,因此它具有已知的横截面。

[0335] 2. 在光束中使用另一个已知的反射对象,例如具有已知的反射和大小、沿路径位于已知距离的某处的小球体。

[0336] 3. 通过将具有通过光束的已知OCS的对象丢弃来偶尔校准设置,这可以在任何已知位置处完成或者可以在每个像素处完成。

[0337] 在测量校准的情况下,信号可以直接与OCS相关。最好的校准方法可能依赖于空气信号的测量值,即来自空气中的灰尘或湿气的散射。

[0338] 其他参数

[0339] 一旦检索到OCS,就可以确定其他参数,诸如事件长度和范围,以及散射光的总量、

峰值强度、其在时间和范围内的质心。还可以确定昆虫的翅拍频率和彩虹色特征。可以包括其他参数。

[0340] 检索谐波内容

[0341] 可以执行对表现出翅拍特性的事件的进一步分析。可以使用滑动最小滤波器来分离翅和身体对信号的贡献。倒谱分析可用于检索基波。可以执行信号和谐波的重建,从而将具有振幅 a_k 的 k 次谐波与乘以身体贡献的谐波系列拟合。

[0342] 时间相关散射的重建可以包括使用小波变换。

[0343] 可以包括偏振敏感探测以改善身体信号的重建并因此改善身体/翅分离的重建。

[0344] 可以利用滑动窗口(例如,具有先进先出结构的矩阵)来实时地执行统计测量和阈值处理。

[0345] 所示LIDAR系统的一种类型具有第二接收器单元,所述第二接收器单元具有第四壳体(未示出),其与接收器壳体12一样容纳相同类型的部件;然而,接收器壳体14和第四壳体被布置用于接收电磁辐射(例如,以90度相互间隔),使得可以从侧面和顶部观察测量体积中的动物,从而允许良好地重建动物(诸如昆虫)在测量体积内的位置,并且确定飞行方向。

[0346] 可选地,接收器单元的接收器壳体14安装在单独框架上,所述框架可以相对于发送器单元的发送器壳体12定位在任意位置以用于探测测量空间中的动物群(例如,按照Scheimplug原理)。

[0347] 可选地,第二接收器单元的第四壳体安装在单独框架上,所述框架可以相对于发送器单元的发送器壳体12定位在任意位置以用于探测测量空间中的动物群(例如,按照Scheimplug原理)。

[0348] 在所示LIDAR系统10中,处理器单元22的处理器适于控制发送器壳体12中的至少一个电磁辐射源并用于交替地打开和关闭至少一个电磁辐射源,并且处理器单元22的处理器还适于在关闭至少一个电磁辐射源时确定来自测量体积的电磁辐射的背景发射。

[0349] 在所示系统10的第三种类型中,处理器单元22的处理器适于确定两个或更多个波长 w_1 、 w_2 、...、 w_n 的强度,并且用于将所确定的强度与一组用于不同物种的参考数据进行比较,以及用于产生关于活体(例如,动物)的生物学特异性的信息。

[0350] 可选地,处理器单元22的处理器适于确定两个或更多个偏振态 p_1 、 p_2 的强度,并且用于将所确定的强度与一组用于不同物种的参考数据进行比较,以及用于产生关于活体(例如,动物)的生物学特异性的信息。

[0351] 可选地,处理器单元22的处理器连接到摄像机壳体16中的摄像机以用于接收来自摄像机的图像,并且处理器单元22的处理器适于对从摄像机接收的图像执行图像分析,以及用于响应于所执行的分析而控制发送器壳体12中的电磁辐射源,例如在系统对准期间,以及例如用于监测发射和/或接收的电磁辐射的传播路径中的障碍物并关闭第一壳体12中的电磁辐射源以防止对对象(例如,人)的无意照射。

[0352] 处理器单元22的处理器适于控制扫描器20以沿期望的移动轨迹、在期望的体积上移动测量体积,例如以在大于测量体积的期望体积的整体内执行测量,或者在样本体积(例如与没有进行测量的体积分开的正规模式体积)中执行测量。

[0353] 除了计算探测到的昆虫的数量之外,处理器单元22的处理器还可以提取每个昆虫

的数据,诸如翅拍振荡、球形散射系数(大小)、特定分子(诸如黑色素、蜡、几丁质或血红蛋白)的光谱信息、以及微观结构(诸如翅膜厚度)的光谱信息。

[0354] 处理器单元22的处理器可以适于基于从测量体积中的动物接收的电磁辐射来确定参考数据。

[0355] 参考数据可以包括至少两种不同物种的数据,诸如至少三种、至少五种、至少10种、至少100种或至少1000种的物种。

[0356] 优选地,所述一组参考数据包括以下参数中的一个或多个的用于不同物种的信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白和翅微观结构(例如,周期性和/或厚度)。通过这些参数中的一个但优选更多个,例如可以确定昆虫、鸟、蝙蝠或水生生物的颜色作为物种、性别和/或年龄的指示符。此外,通过这些参数中的一个但优选更多个,例如可以确定蚊子是否已经进食(例如,咬或吸血),即其是否可能感染疟疾并构成风险。

[0357] 优选地,所述一组参考数据包括一个或多个以下参数的用于不同物种的光谱差分吸收信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白和翅微观结构(例如周期性和/或厚度)。

[0358] 优选地,所述一组参考数据包括一个或多个以下参数的用于不同物种的偏振相关吸收和/或反射信息:黑色素、蜡、几丁质、血红蛋白和翅微观结构,例如周期性和/或厚度。

[0359] 优选地,所述一组参考数据包括不同物种的差分光谱吸收数据。在优选实施方案中,所述一组参考数据包括不同物种的差分偏振吸收和/或反射数据。

[0360] 优选地,参考数据还包括相对于物种的性别和/或年龄的信息。

[0361] 优选地,所述一组参考数据是通过在具有预定物种的昆虫的昆虫馆(也称为昆虫室)中操作所示LIDAR系统10而获得的。

[0362] 可替代地或附加地,所述一组参考数据是通过在具有预定物种的鸟类和/或蝙蝠的区域中操作所示LIDAR系统10,和/或通过操作所示LIDAR系统10(其中例如经由摄像机和成像技术或利用RADAR技术同时确定鸟类和/或蝙蝠的物种)而获得的。

[0363] 可替代地或附加地,所述一组参考数据是通过操作所示LIDAR系统10获得的,该系统用于具有预定物种的水生生物的水族箱中的水生动物群。

[0364] 优选地,提供了一种方法,通过在包括至少一种预定物种(例如至少两种、至少三种、至少五种、至少10种、至少100种、或至少1000种的预定物种)的昆虫馆中应用所示LIDAR系统10来产生一组生物学特异性数据。

[0365] 所述一组参考数据或所述一组参考数据的一部分可以嵌入在所示LIDAR系统10的处理器单元22的处理器内。

[0366] 可以远程访问所述一组参考数据或所述一组参考数据的一部分,例如经由基于云的解决方案。

[0367] 可选地,所示LIDAR系统10包括被布置用于将具有已知光学特性的对象放置在测量体积中的校准器(未示出)。

[0368] 可选地,所示LIDAR系统10包括诱捕器和拍摄在诱捕器中收集的昆虫的照片的摄影单元。诱捕器和摄影单元用于向系统提供附加信息,诸如以用于验证、质量或参考目的或这些的组合。

[0369] 所示LIDAR系统10可以用于农学。农业集约化和农药使用对空中生态有深远的影响。然而,鉴于监测技术的局限性,对空中动物群组成的影响尚不清楚。

[0370] 本发明提供了一种用于优化农业中的农药使用的方法。所述方法包括以下步骤：使用所示LIDAR系统10测量一种、两种或更多种物种的昆虫，分析来自测量的数据（例如，使用有监督或无监督的学习算法等），以及确定期望的农药、喷洒时间、喷洒安排和/或喷洒量。

[0371] 本发明提供了一种用于优化农用化学品的使用的方法。所述方法包括以下步骤：使用所示LIDAR系统10测量一种、两种或更多种物种的昆虫，分析来自测量的数据，以及确定期望的农用化学品、喷洒时间、喷洒安排和/或喷洒量。优选地，所述方法是自动的并且还包含与数字害虫和疾病建模平台的数据交换以用于确定喷洒参数（例如农药、化学品、量、时间或安排）。

[0372] 优选地，与前几年使用农药和/或农用化学品相比，在农场或类似物中使用所示LIDAR系统10或方法以减少在农作物中使用农药和/或农用化学品。“前几年”是指农药和/或农用化学品在1年内，可替代地在3年、5年或10年内的年平均使用量。

[0373] 有利地，所示LIDAR系统10可以用于病媒控制（诸如疟疾控制）。现在，监测疟疾蚊子方面的主要限制是：昆虫丰度评估是基于昆虫诱捕器。放置和清空诱捕器是繁琐的操作并构成一项重大努力，并且结果相对于所捕获的物种、性别和年龄组有偏差。

[0374] 所示LIDAR系统10可以用于病媒监视（诸如疟疾蚊子监视），并且使得能够进行非侵入性的现场监测（例如，针对疟疾蚊子的现场监测），从而改善对国家病媒控制计划的决策支持。

[0375] 有利地，所示LIDAR系统10可以用于监测受威胁和濒临灭绝的鸟类和蝙蝠物种。鸟类监测的具有挑战性的任务在于识别高海拔鸟的种类和性别。

[0376] 有利地，所示LIDAR系统10可以用于在风力发电厂对鸟和蝙蝠的探测。

[0377] 风力发电厂的操作员可以使用所示LIDAR系统10以便确定操作的关键时间和/或操作停止的时间。

[0378] 有利地，所示LIDAR系统10可以在确定最佳操作位置之前用于风力发电厂的开发者，由此可以考虑迁徙鸟类和/或濒危蝙蝠的信息。

[0379] 有利地，所示LIDAR系统10可以用于水生应用。水产养殖生产系统可能遭受不希望的水生生物，诸如海虱和偏盖螺属。越来越多的问题是用于减少鱼病的化学处理、过量抗生素使用和抵抗性。这对环境产生负面影响，诸如藻类繁殖、海洋哺乳动物死亡、海洋垃圾和海底垃圾。

[0380] 有利地，所示LIDAR系统10提供用于分析水生生物的新工具，并且可以用于减少养鱼场和水产养殖生产中的化学品的使用。

[0381] 有利地，所示LIDAR系统10可以用于经由叶绿素的荧光来监测植被/海底。

[0382] 利用所示LIDAR系统10和方法，改进的昆虫特异性测定是原位进行的。

[0383] 利用所示LIDAR系统10和方法，可以相对于至少两种物种（诸如超过三种、超过五种、超过十种、超过100种或超过1000种的物种）的生物学特异性进行空中或水生动物群的量化。

[0384] 图2示意性地示出一种光学配置，所述光学配置具有图1所示的LIDAR系统10并且是具有发送器单元和接收器单元的类型，所述发送器单元具有容纳单一激光器40的发送器壳体，所述接收器单元具有被布置用于根据沙氏原理进行操作的接收器壳体。

[0385] 在光学成像系统中,物平面通常被成像到平行于物平面的像平面上,并且利用透镜执行成像,所述透镜将物平面的聚焦图像提供到像平面上。透镜具有垂直于物平面和图像的光轴。然而,如果透镜的光轴相对于像平面倾斜,则成像到具有锐聚焦的像平面上的平面也将根据几何和光学特性倾斜。在图2中,接收器单元的透镜42根据沙氏原理倾斜,使得聚焦到探测器46的像平面44上的物平面包含由发送器单元的激光器40发射的激光束48。以这种方式,激光束48的大部分被聚焦到探测器46的像平面44上,并且激光束48的近部分和远部分都将聚焦。探测器46的像平面44和透镜42的透镜平面50在所谓的沙氏交叉点52处与激光束48相交。

[0386] 探测器46是具有2048个像素的线性CCD或CMOS阵列,其被布置成使得CCD或CMOS阵列的每个像素沿着激光束48的长度接收来自激光束48的特定部分的电磁辐射,使得由于激光束48的各个区段沿着激光束48的长度一对一成像到相应的各个CCD或CMOS像素上,可以执行测距。

[0387] 否则,图2的LIDAR系统10如结合图1所解释的那样操作。

[0388] 图3示意性地示出类似于图2所示的LIDAR系统10的LIDAR系统10,不同之处在于以下事实:已经将摄像机60添加到LIDAR系统10。

[0389] 摄像机60用于LIDAR系统10的正确对准,并且可选地用于监测发射和接收的电磁辐射48、62的传播路径。可选地,处理器单元22(参见图1)的处理器连接到摄像机60,以用于接收来自摄像机60的图像,并且处理器单元22的处理器适于对从摄像机接收的图像进行图像分析,并且适于例如在系统的对准期间响应于所执行的分析来控制电磁辐射源40,并且例如适于监测发射和/或接收的电磁辐射48、62的传播路径中的障碍物并关闭电磁辐射源40以防止对象(例如,人类)被无意照射。

[0390] 图4示意性地示出类似于图2所示的LIDAR系统10的LIDAR系统10,不同之处在于以下事实:已经将具有聚焦反射镜80和聚焦反射镜82的牛顿望远镜(仅示出反射镜)添加到LIDAR系统10。其他方面,图4的LIDAR系统10以与图2的LIDAR系统10相同的方式操作。

[0391] 图5示意性地示出类似于图4所示的LIDAR系统10的LIDAR系统10,不同之处在于以下事实:已经将另一个接收器壳体84添加到系统10、在具有激光器40的发送器壳体附近,其中另一个接收器壳体84容纳Si象限探测器,所述象限探测器用于探测反向散射的NIR辐射,以便探测通过测量体积的运动方向,如上所解释。

[0392] 其他方面,图5的LIDAR系统10如结合图4所解释的那样操作。

[0393] 图6示意性地示出类似于图4所示的LIDAR系统10的LIDAR系统10,不同之处在于以下事实:已经将摄像机60添加到LIDAR系统10。摄像机60连接到处理器单元22的处理器,以便以与结合图3所解释的相同方式操作。

[0394] 图7示意性地示出类似于图4所示的LIDAR系统10的LIDAR系统10,不同之处在于以下事实:发送器单元包括用于发射不同波长 w_1 、 w_2 的电磁辐射的两个激光器86、88,并且接收器单元包括两个半导体探测器90、92,即具有2048个像素的线性CCD或CMOS阵列90、92,其适于探测相应波长 w_1 、 w_2 的电磁辐射。激光器86、88和半导体探测器90、92与相应的分束器94、96协作,以便以本领域技术人员公知的方式进行适当操作。测量体积的长度为约100米。此外,所示LIDAR系统10如结合图4所解释的那样操作。

[0395] 图8示出利用新的LIDAR系统10确定并分类动物群的流程图。结合图1更详细地描

述所述过程。

[0396] 图9示意性地示出用于昆虫的参考测量的LIDAR系统10。所示LIDAR系统10的测量体积具有近似3米的相对短的长度。半导体探测器90、92和接收光学器件被布置用于探测反向散射的电磁辐射,并且半导体探测器90、92是单一元件或像素探测器。

[0397] 图10示出探测器信号和已处理的探测器信号的绘图。曲线100是实验室LIDAR系统的探测器的输出信号的绘图,其中昆虫在测量体积中输出信号以高采样频率记录,并且由昆虫的翅拍引起的强度变化以高分辨率显示。信号的低频基部是由来自昆虫身体的信号贡献引起的。在绘图的下部曲线102中,已从输出信号中减去基部,以便提供来自昆虫翅膀的信号贡献。曲线104示出了来自翅膀的信号贡献的傅立叶变换,其显示了近似700Hz的翅拍的基频106和翅拍频率的多个谐波频率。曲线108示出了来自昆虫身体的信号贡献的傅立叶变换。

[0398] 曲线110是现场LIDAR系统的探测器的输出信号的绘图,其中昆虫在测量体积中。输出信号以低采样频率记录,并且由昆虫的翅拍引起的强度变化以低分辨率显示。信号的低频基部是由来自昆虫身体的信号贡献引起的。在绘图的下部曲线112中,已从输出信号中减去基部,以便提供来自昆虫翅膀的信号贡献。

[0399] 图11示出随时间变化的每小时计数的现场探测到的昆虫114的数量的直方图。探测到的昆虫的昼夜节律清晰可见。

[0400] 图12示出展示了特定蚊子的标识的直方图。通过释放多个相同性别和类型的个体并用实验室LIDAR系统确定它们的翅拍频率,在实验室条件下获得了关于各种类型的雄性和雌性蚊子的翅拍频率的参考数据。针对多种类型的蚊子重复这一过程。绘图显示了雄性埃及伊蚊(*Aedes aegypti*) 116和雌性埃及伊蚊118的翅拍频率的直方图。绘图还显示了在现场记录的所有翅拍频率的直方图120,以用于与参考数据116、118进行比较。在现场测量期间,似乎探测到雄性和雌性埃及伊蚊。

[0401] 尽管已经示出并描述了特定实施方案,但应当理解,它们并不旨在限制要求保护的发明,并且对于本领域技术人员来说显而易见的是,在不脱离要求保护的发明的精神和范围的情况下可以进行各种改变和修改。因此,应在说明性意义而不是限制性意义上理解说明书和附图。要求保护的发明旨在涵盖替代例、修改和等同物。

[0402] 通过以上描述,光子学领域的技术人员将能够执行根据所附权利要求的各种LIDAR系统和方法。LIDAR系统的实际实现方式和数据处理的实例可以在文献中找到,包括

[0403] 引入本文作为参考的Mikkel Brydegaard、Aboma Merdasa、AlemGebru、Hiran Jayaweera和Sune Svanberg,“Realistic Instrumentation Platform for Active and Passive Optical Remote Sensing,”*Appl.Spectrosc.*70,372-385(2016),以及

[0404] 也引入本文作为参考的Brydegaard,M.(2015):“Towards Quantitative Optical Cross Sections in Entomological Laser Radar-Potential of Temporal and Spherical Parameterizations for Identifying Atmospheric Fauna.”*PLOS ONE*,DOI:10.1371/journal.pone.0135231,以及

[0405] 也引入本文作为参考的Mikkel Brydegaard、Alem Gebru和Sune Svanberg,“Super Resolution Laser Radar with Blinking Atmospheric Particles-Application to Interacting Flying Insects”,*Progress In Electromagnetics Research*,第147卷,

第141-151页,2014年。

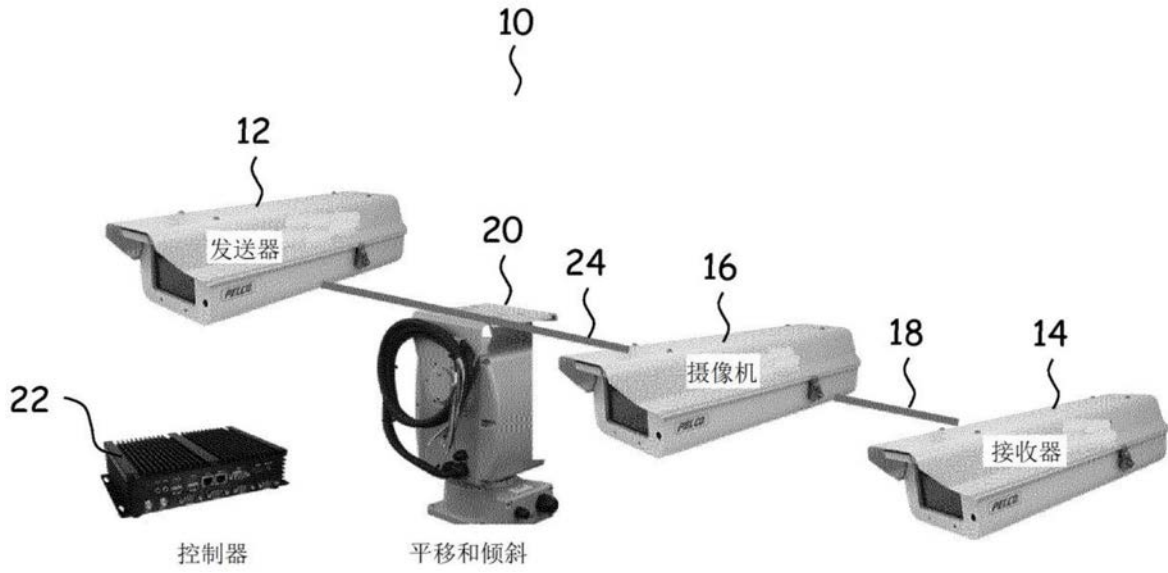


图1

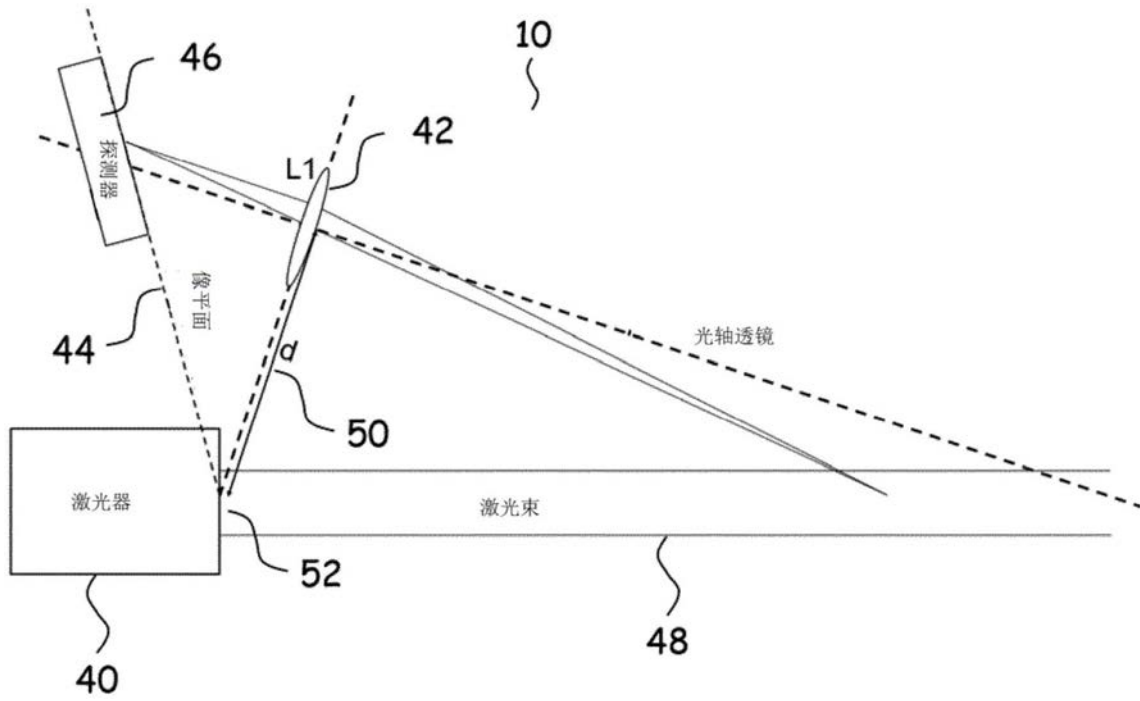


图2

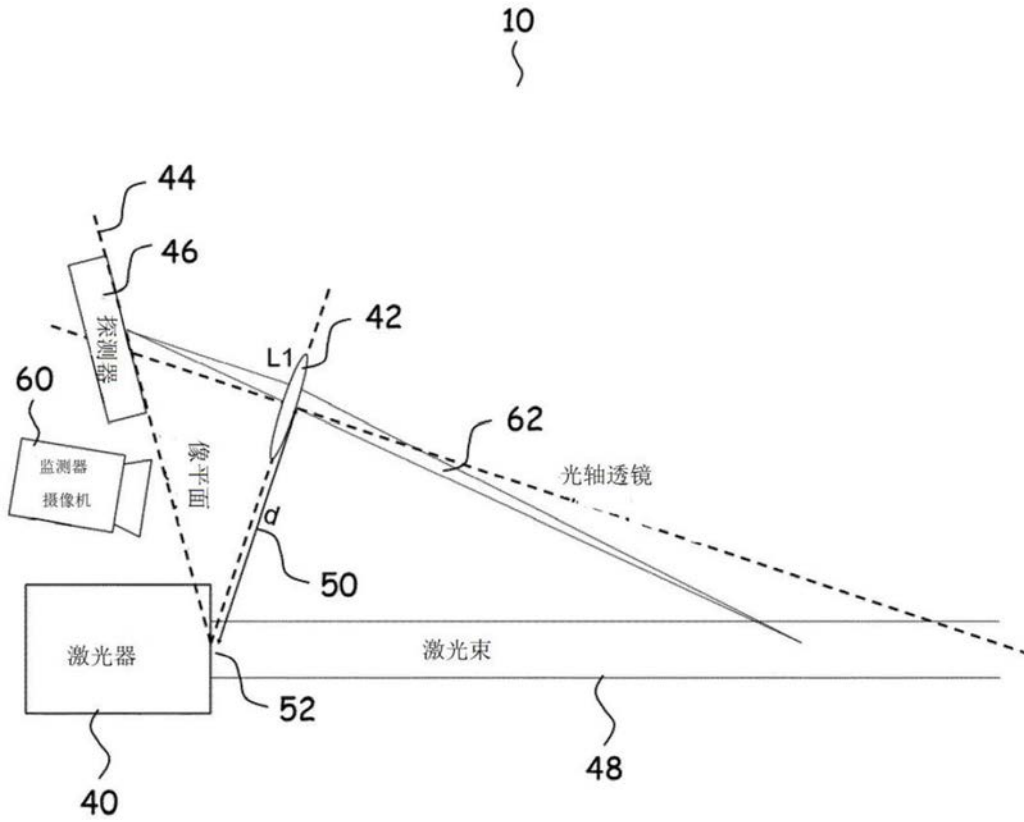


图3

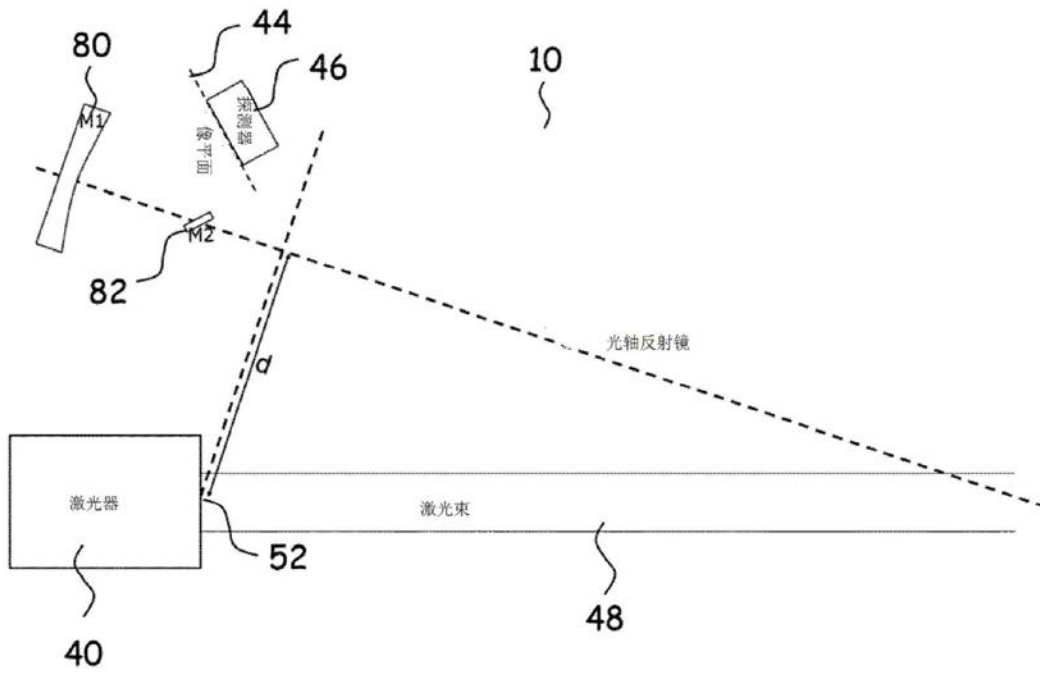


图4

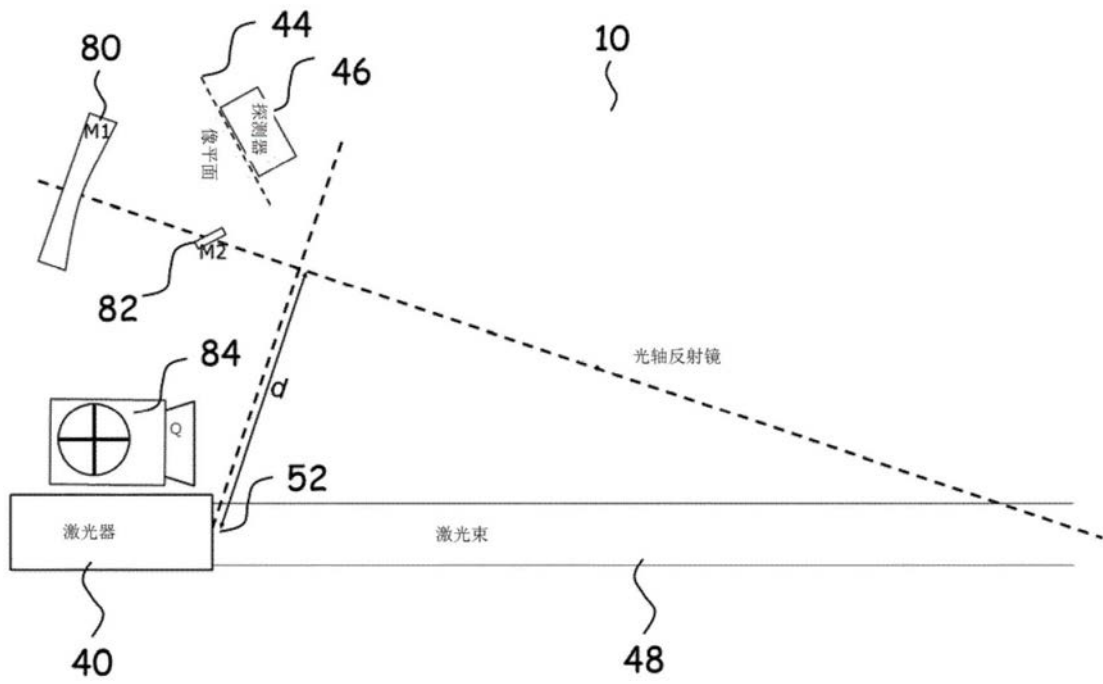


图5

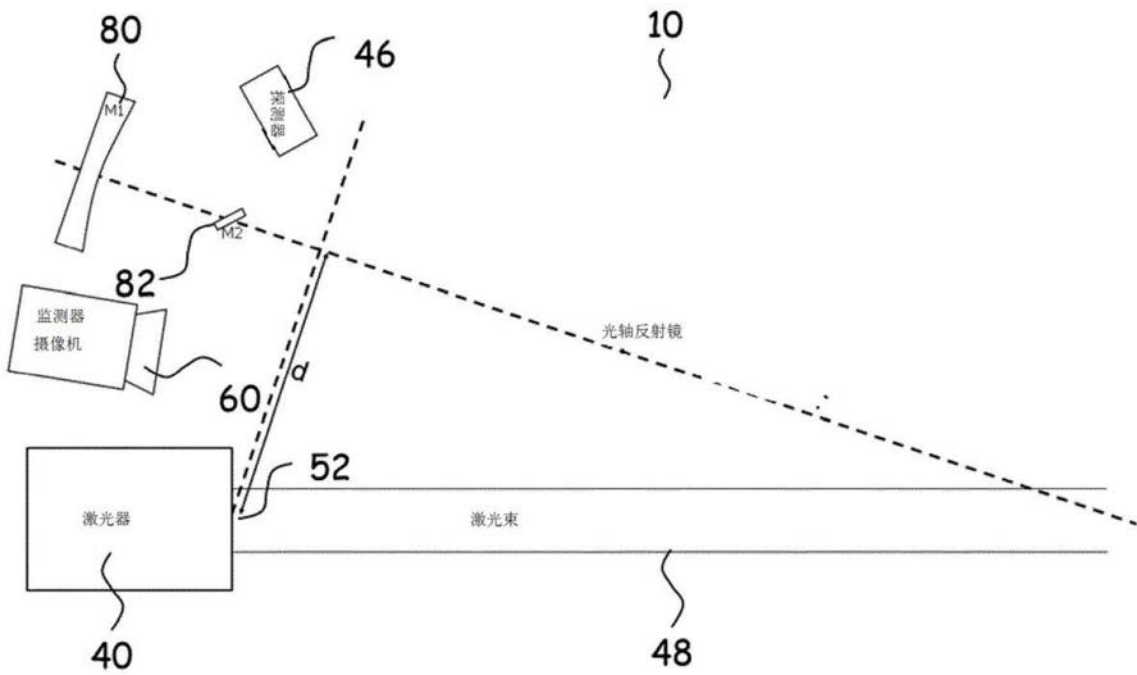


图6

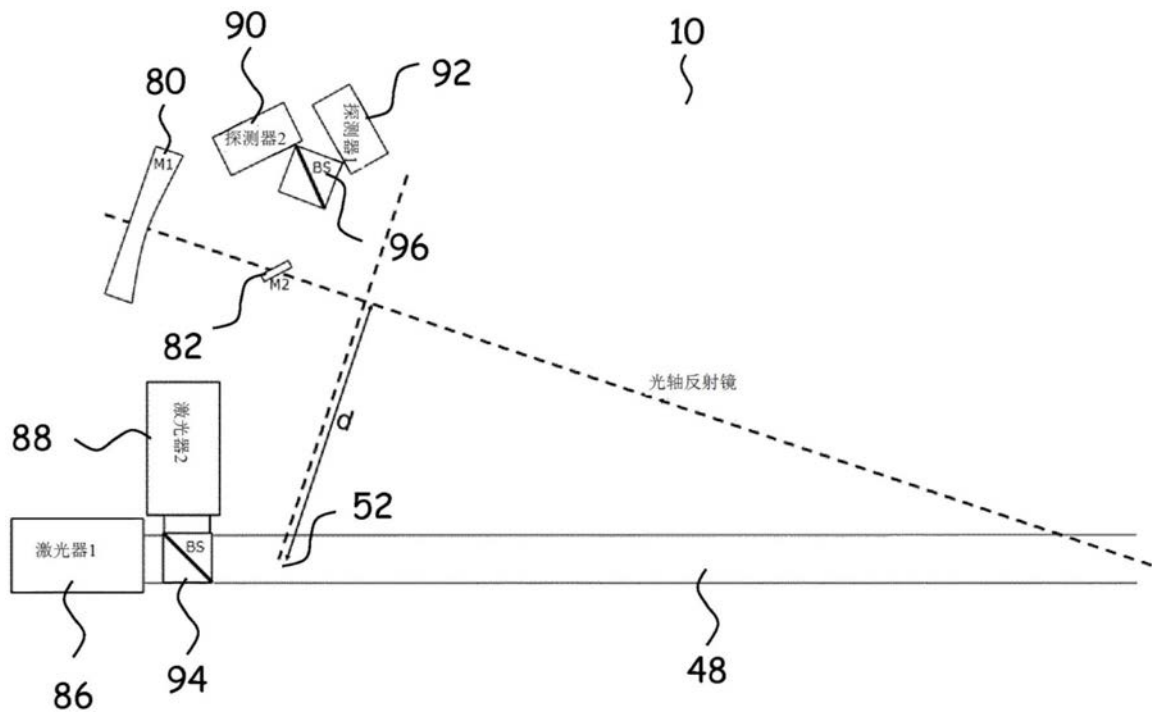


图7

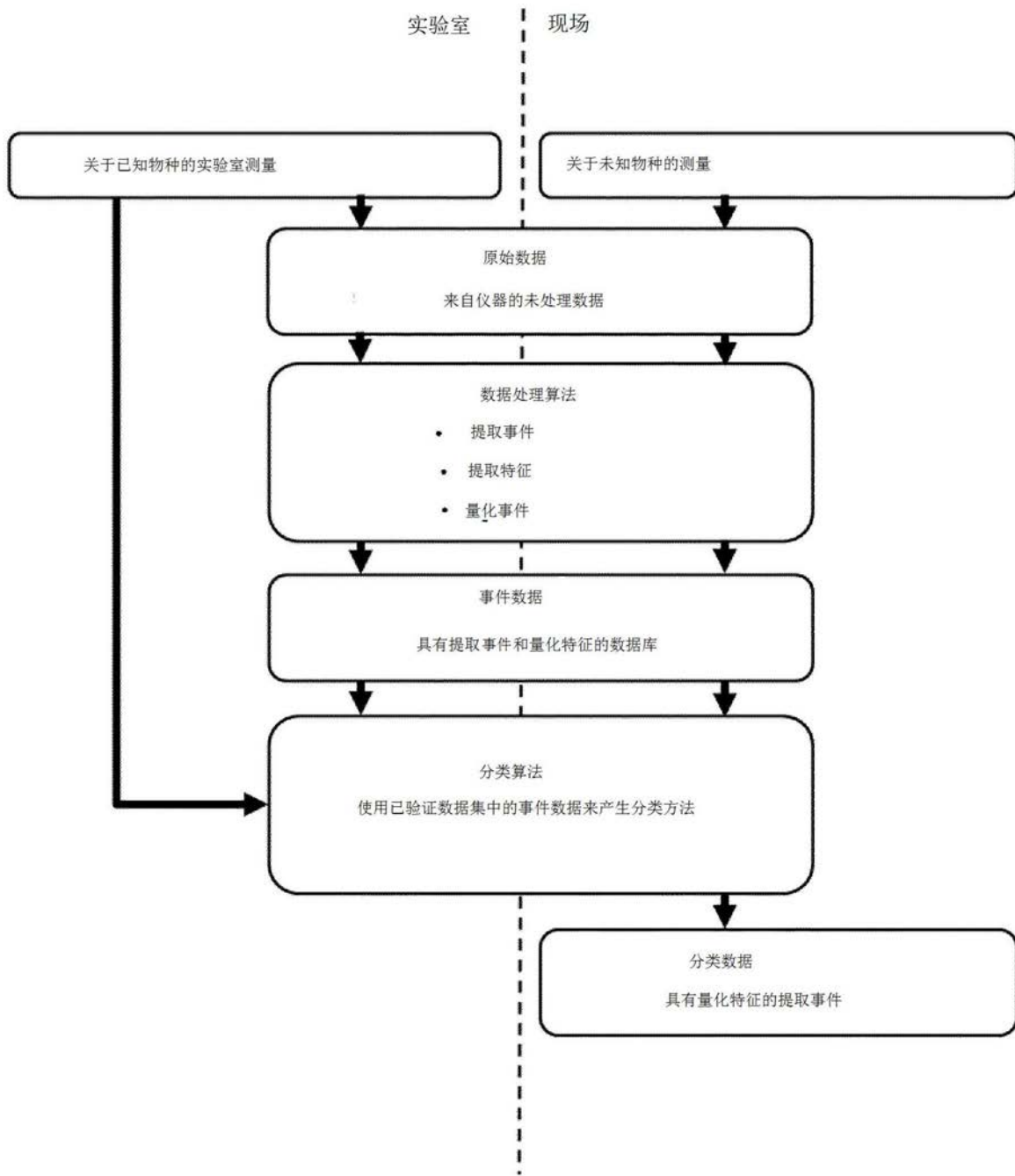


图8

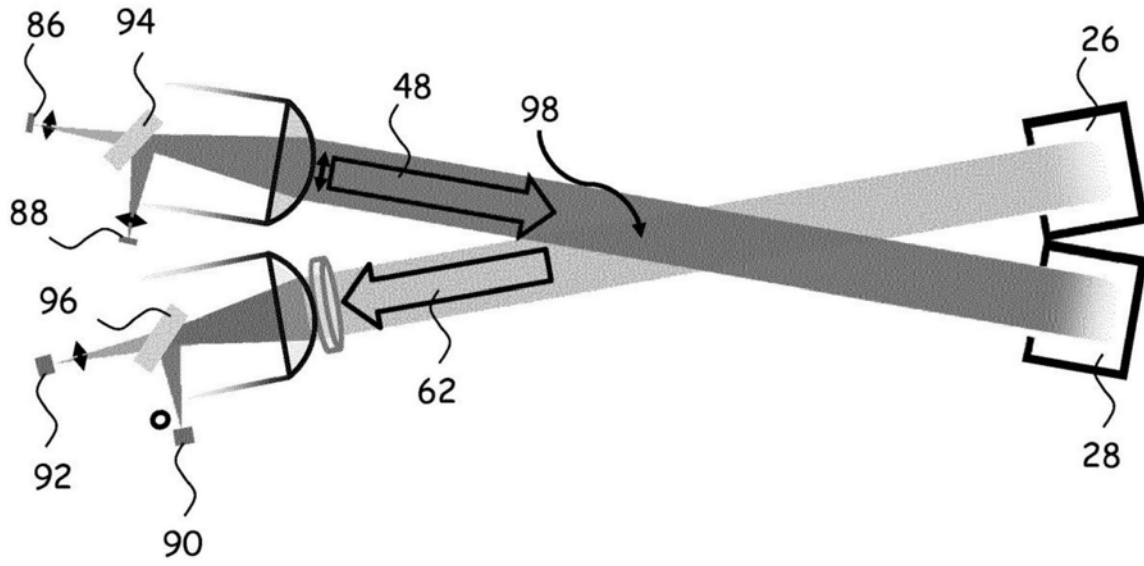


图9

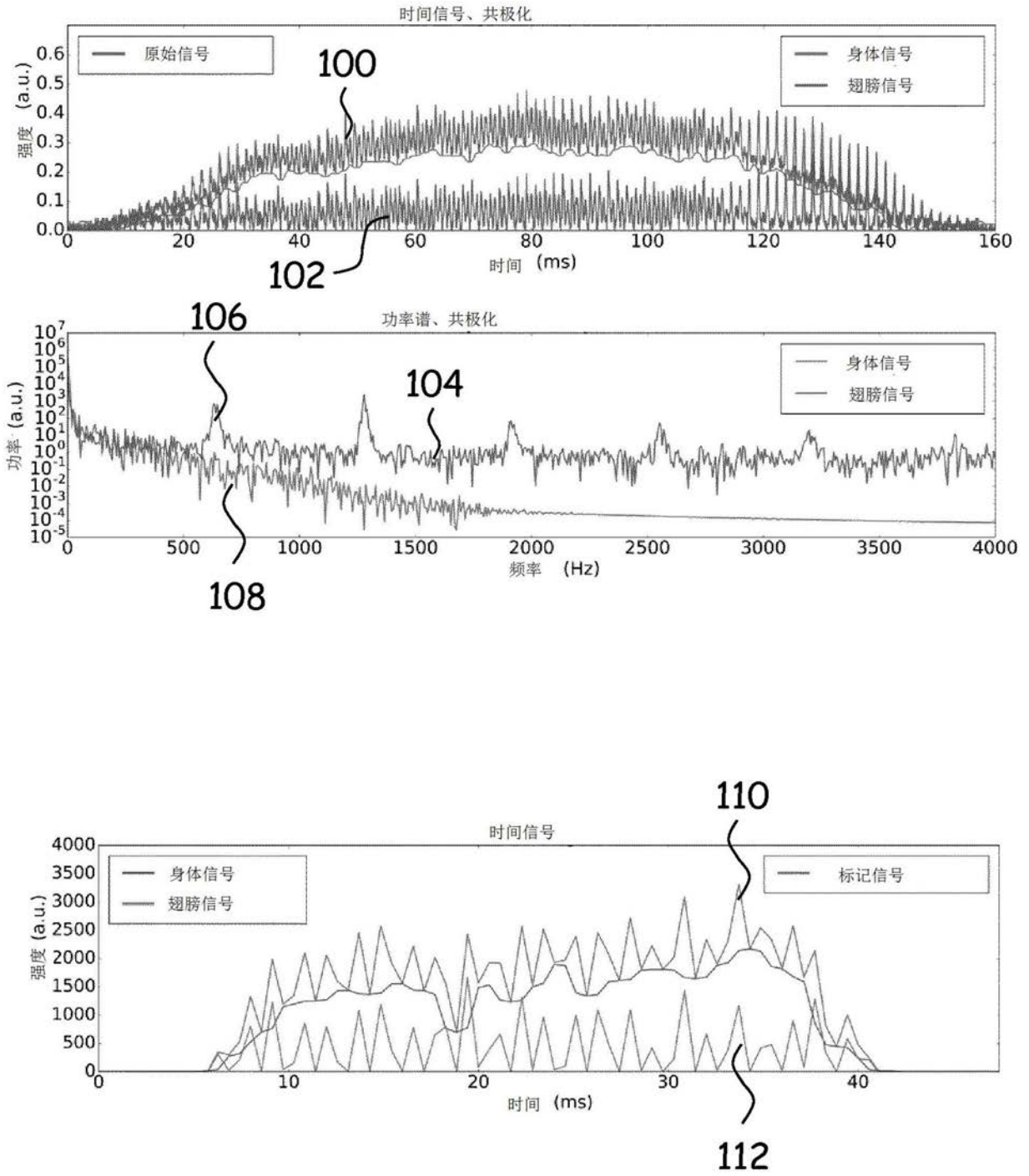


图10

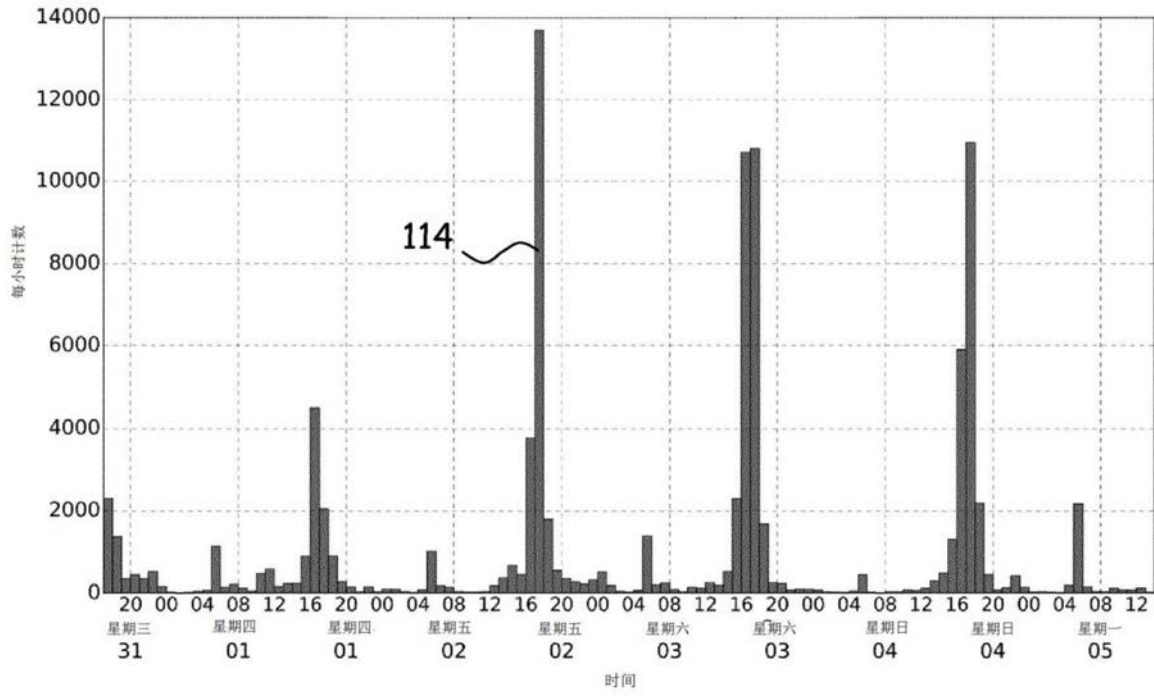


图11

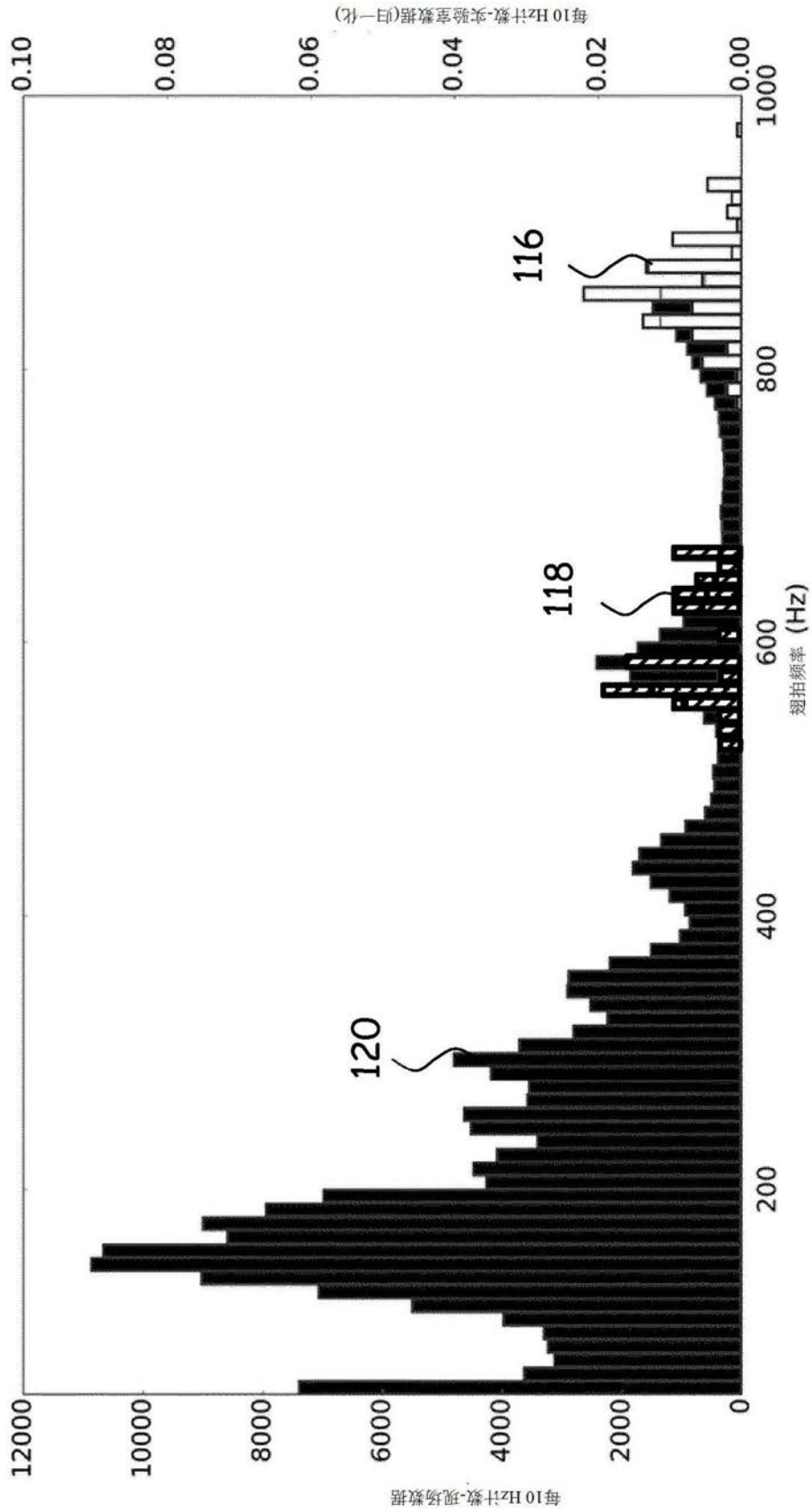


图12