



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102401658 A

(43) 申请公布日 2012. 04. 04

(21) 申请号 201110247686. 0

(22) 申请日 2011. 08. 24

(30) 优先权数据

12/807, 125 2010. 08. 27 US

(71) 申请人 崔宝导航有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 布鲁诺·史尔辛格

乌尔利希·沃拉芙

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限

公司 11243

代理人 许静 黄灿

(51) Int. Cl.

G01C 21/16 (2006. 01)

G01S 19/49 (2010. 01)

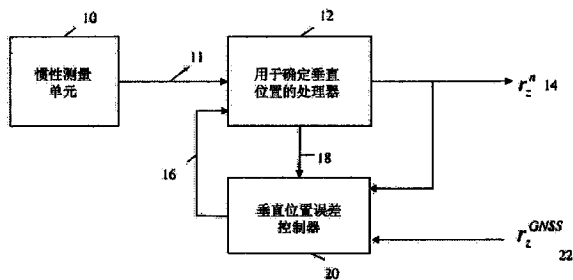
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 3 页

(54) 发明名称

用于计算垂直位置的系统和方法

(57) 摘要

本发明揭示为运动主体提供高度垂直测量准确性的控制系统和方法。所述系统采用用于垂直测量的惯性传感器系统和全球导航卫星系统,所述全球导航卫星系统包括多路径减少或衰减以将移动主体的经校正垂直信息提供到所述惯性传感器系统。这些系统的组合使得能够维持所述主体的准确垂直位置。



1. 一种用于确定运动主体的垂直位置的系统,其包含:
  - a] 惯性测量单元,其经配置以确定所述运动主体的垂直加速度信息;
  - b] 处理器,其适于使用所述垂直加速度信息来确定所述主体的垂直移动量,且在预定坐标系中计算所述主体的垂直位置信息;以及
  - c] 全球导航卫星系统,其具有至少一个全球导航卫星系统接收器,所述全球导航卫星系统接收器适于提供所述主体在所述预定坐标系中的参考垂直位置信息,所述全球导航卫星系统接收器经配置以减少多路径噪声,且将所述主体的经校正全球导航卫星系统垂直位置信息输出到所述处理器,借此所述处理器通过比较来确定所述惯性测量单元的惯性测量误差,且计算所述运动主体的正确垂直位置。
2. 一种用于确定运动主体的垂直位置的方法,其包含:
  - a] 确定运动主体的垂直加速度信息;
  - b] 根据所述运动主体的所述垂直加速度信息,计算所述运动主体的垂直移动量和垂直位置;
  - c] 根据至少一个全球导航卫星系统接收器来确定垂直参考位置,所述全球导航卫星系统接收器经配置以在确定所述参考垂直位置信息时衰减所述接收器中的多路径失真且校正多路径误差。
3. 一种用于确定垂直位置的系统,其包含:
  - a] 惯性测量单元,其包括导航级加速计以用于确定运动主体的垂直加速度信息;
  - b] 处理器,其用于根据所述垂直加速度信息来确定垂直位置信息;
  - c] 至少一个全球导航卫星系统接收器,其适于提供所述运动主体的参考垂直位置信息;
  - d] 控制器,其经配置以减少来自所述全球导航卫星系统接收器的多路径卫星信号,所述控制器的输出将垂直位置校正信息提供到所述处理器以用于确定垂直位置。
4. 一种用于确定垂直位置的系统,其包含:
  - a] 惯性测量单元,其用于确定运动主体的垂直加速度信息;
  - b] 处理器,其用于根据所述垂直加速度信息来确定垂直位置信息;
  - c] 至少一个全球导航卫星系统接收器,其适于提供所述运动主体的参考垂直位置信息,所述至少一个接收器包括一个或一个以上天线,所述天线经配置以将多路径信号随机化为噪声;以及
  - d] 垂直位置误差控制器,对所述控制器的输入为所述参考垂直位置信息和所述所确定的垂直位置信息,所述控制器的输出将垂直位置校正信息提供到所述处理器以用于确定垂直位置。
5. 一种用于确定垂直位置的方法,其包含:
  - a] 提供运动主体的导航级垂直加速度信息;
  - b] 提供所述运动主体的基于卫星的垂直位置信息;
  - c] 处理所述运动主体的所述垂直加速度信息以计算垂直位置信息;
  - d] 确定所述所确定的垂直位置信息与所述基于卫星的垂直位置信息之间的差,且采用所述差来处理所述运动主体的所述垂直加速度信息。
6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中所述运动主体的所述垂直位置信息包含全球导航

卫星系统信息。

7. 根据权利要求 6 所述的方法,其中所述全球导航卫星系统信息包含 GPS 信息。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述 GPS 信息包含 GPS 垂直位置信息。

9. 根据权利要求 5 所述的方法,其进一步包含为潜在垂直位置信息而补偿所述所计算的垂直位置信息。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其进一步包含从所述基于卫星的垂直位置信息减去所述经补偿的所计算的垂直位置信息,且使用所述相减的结果来在所述垂直加速度信息的所述处理期间进行校正。

11. 根据权利要求 5 所述的方法,其中处理所述运动主体的所述垂直加速度信息以计算垂直位置信息包含对所述垂直加速度信息执行至少一个积分。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中对所述垂直加速度信息执行所述至少一个积分包含对所述垂直加速度信息求积分以确定垂直速度信息。

13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中对所述垂直加速度信息执行所述至少一个积分进一步包含对所述垂直速度信息求积分以确定所述所计算的垂直位置信息。

14. 根据权利要求 5 所述的方法,其中所述垂直加速度信息包含惯性导引信息和测距信息中的至少一者。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中惯性导引信息和测距信息中的所述至少一者包含来自加速计三元组和 2 轴倾斜传感器的信息。

16. 一种用于确定垂直位置的系统,其包含:

a] 导航级加速计,其用于确定运动主体的垂直加速度信息;

b] 处理器,其用于根据所述垂直加速度信息确定垂直位置信息;

c] 卫星导航接收器,其用于提供所述运动主体的参考垂直位置信息,所述接收器包括连接到所述卫星导航接收器的天线,所述天线经配置以使多路径噪声随机化;以及

d] 负反馈环路,其包括滤波器,所述负反馈环路的输入是所述参考垂直位置信息与所述所确定的垂直位置信息之间的差,且所述负反馈环路的输出为所述处理器以用于确定垂直位置信息。

17. 一种用于以正负 1 厘米  $2 \Sigma$  确定垂直位置的方法,其包含:

a. 使用卫星导航接收器确定垂直参考位置;

b. 相对于时间而执行导航级加速计的输出的第一积分;

c. 使用所述第一积分的所述输出作为对相对于时间的第二积分的输入以获得惯性垂直位置;

d. 延迟所述惯性导航位置以解决与所述全球导航系统接收器相关联的等待时间;

e. 从所述垂直参考位置减去所述经延迟的惯性位置;以及

f. 使用负反馈将所述差反馈到加速度和速度积分器,以便减少所述加速度和速度积分器中从所述加速计引入的误差。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其中将所述经延迟的惯性位置与所述垂直参考位置之间的所述差乘以第一常数,且从所述第二积分的所述输入中减去。

19. 根据权利要求 17 所述的方法,其中将所述经延迟的惯性位置与所述垂直参考位置之间的所述差乘以第二常数。

## 用于计算垂直位置的系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明关于用以准确地计算垂直位置的设备和方法。

### 背景技术

[0002] 现代建设和农业任务通常需要高度的垂直准确性。事实上,用于此类项目(例如建造新的公路或机场跑道)的合同通常具有基于完工路面的光滑和平坦程度的奖金明细表。此外,许多项目包括严格的时间表,其还可并入有对按时或提早完工的激励和/或对延误的处罚。因此,对于承包方来说,快速地并以高度垂直准确性(通常 1 厘米 2  $\Sigma$  准确性)完成例如路面或跑道等建设项目已变得非常重要。

[0003] 例如铺路机等重型设备在传统上已使用多种技术来以高度精确性创建光滑平坦的表面。通常用以修筑光滑平坦路面的一种低技术方法是沿道路场地的任一侧以周期性间隔放置木桩。接着将钉插入到所述木桩中,且将标线系到所述钉并在正建设的路面的恰当高度处牵拉。铺路机的操作者接着手动地尝试遵循所述标线,因而所得的沥青层沉积在恰当的位置和深度处。

[0004] 铺路机由两个主要组件(即,牵引机和刮板)构成。牵引机接纳沥青、对沥青进行混合并将沥青铺撒到待铺表面上,同时向前推进铺路机。刮板将所沉积的沥青压缩并平整到所要宽度和厚度。因此,准确地控制刮板的垂直位置是实现光滑水平路面必不可少的。

[0005] 铺路机采用两个感测棒以用于控制目的:一个棒用以控制高度;另一个棒用以控制左/右定位。高度感测棒擦过标线(或导引线)的下侧,且用以控制铺路机刮板(铺路机的压缩并平整沥青的那个部分)的高度。对准感测棒沿标线的内侧擦过,且用以控制铺路机的左/右位置。

[0006] 然而,标线系统具有许多缺点。举例来说,设置和取下标线是非常耗时的,通常需要单独的工作人员。另外,设置和取下标线是昂贵的(标线的估计成本在每英里 \$10,000 到 \$16,000 的范围内)。更重要的是,标线(尤其是由聚乙烯绳制成的标线)容易下垂。为了抵抗下垂,已采用航空钢丝绳来代替聚乙烯绳,然而拉伸航空钢丝绳以避免下垂需要绞盘机,这又消耗额外的时间和设备来设置。

[0007] 在过去几年里,已出现了对使用标线的两个替代方案:全球导航卫星系统(“GNSS”)和通用全站仪。对于此应用,GNSS 指代任何卫星导航系统,包括但不限于 GPS、GLONASS、GALILEO 和 COMPASS。

[0008] GNSS 采用安装于铺路机上的天线和接收器来控制机器的高度和左/右位置。另外,第二接收器可用作基站来提供实时动态(“RTK”)或载波相位增强型 GNSS,其附带有较高准确性。RTK 或载波相位增强型 GNSS 在全球卫星导航系统的技术领域是众所周知的。

[0009] 然而,将 GNSS 用于此应用存在若干缺点。举例来说,基于(尤其)在给定时间看得见的 GNSS 卫星的位置、与(大多数 GNSS 接收器所采用的)地球表面的椭球体近似相比的地球表面的不均匀性以及由地球大气层引入的传播延迟和多路径误差,与水平位置相比,GNSS 系统对于测量垂直位置来说实质上较不准确。最后,GNSS 系统遭受等待时间问题,例

如参考接收器数据中因遥测延迟所造成的等待时间。因此,GNSS 系统独自可能不足以用于需要高度垂直准确性的活动,换句话说,需要一厘米或更小的垂直准确性的应用。

[0010] 对使用标线的另一替代方案是通用(或机器人)全站仪(下文中称为“UTS”),其使用激光与无线电遥测技术的组合来跟踪移动棱镜。举例来说,UTS 系统通常采用安装于铺路机刮板的左侧和右侧上的一对棱镜。两个全站仪沿路面的每一侧定位,其各自由三脚架安装式激光和无线电调制解调器构成。每一全站仪的激光束设定在所要求高度处,且由安装于刮板的任一端上的棱镜检测并反射。接着检测刮板棱镜的高度随刮板移动而相对于激光束的已知高度的改变。机载信号处理应用程序辅助操作者遵循由安装于刮板上的棱镜所检测到的两个激光束的位置和高度。

[0011] UTS 系统具有已知缺点。举例来说,UTS 系统必须随铺路机向前移动而大概每 100 米或 200 米不断地移动、重新安装和重新调平。即使两组 UTS 可蛙式前进(即,一个系统在使用中,而另一系统沿路面向前移动并进行设置),此蛙式前进仍需要额外的设备和人力。另外,UTS 系统易于受环境干扰,例如雨、雪、灰尘和风。

[0012] 因此,需要一种用于建设、农业和其它重型设备的改进型控制系统,其能够具有 1 厘米的垂直准确性,不需要标线,且避免 GNSS 和 UTS 系统的上述缺点。

## 发明内容

[0013] 本发明的概念包括一种用于确定运动主体的垂直位置的系统,其使用:惯性测量单元,其经配置以确定所述运动主体的垂直加速度信息;处理器,其适于使用所述垂直加速度信息来确定所述主体的垂直移动量,且在预定坐标系中计算所述主体的垂直位置信息;以及 GNSS,其具有至少一个 GNSS 接收器,所述 GNSS 接收器适于提供所述主体在所述预定坐标系中的参考垂直位置信息,其中所述 GNSS 接收器经配置以减少多路径噪声,且将所述主体的经校正的 GNSS 垂直位置信息输出到所述处理器,所述处理器通过比较来确定所述惯性测量单元的惯性测量误差,且计算所述运动主体的正确垂直位置。

[0014] 除了经配置以减少多路径噪声的 GNSS 接收器之外,可采用其它减少多路径噪声的方法。举例来说,可采用卡尔曼(Kalman)滤波器、莫里森(Morrison)滤波器和/或哈奇(Hatch)滤波器来滤出多路径噪声。类似地,可使用均衡技术和/或移动相位阵列天线来减少、最小化或消除多路径噪声。

[0015] 还揭示一种用于确定运动主体的垂直位置的方法,其包含以下步骤:确定运动主体的垂直加速度信息;根据所述运动主体的所述垂直加速度信息,计算所述运动主体的垂直移动量和垂直位置;以及根据至少一个 GNSS 接收器确定垂直参考位置,所述 GNSS 接收器经配置以在确定所述参考垂直位置信息时衰减多路径失真且校正多路径误差。

[0016] 揭示另一种用于确定垂直位置的系统,其包含:惯性测量单元,其包括导航级加速计以用于确定运动主体的垂直加速度信息;处理器,其用于根据所述垂直加速度信息确定垂直位置信息;至少一个全球导航卫星系统接收器,其适于提供所述运动主体的参考垂直位置信息;以及控制器,其经配置以减少来自所述全球导航卫星系统接收器的多路径卫星信号,所述控制器的输出将垂直位置校正信息提供到所述处理器以用于确定垂直位置。

[0017] 揭示另一种用于确定垂直位置的系统,其包含:惯性测量单元,其用于确定运动主体的垂直加速度信息;处理器,其用于根据所述垂直加速度信息确定垂直位置信息;至

少一个全球导航卫星系统接收器,其适于提供所述运动主体的参考垂直位置信息,其中所述接收器包括一个或一个以上天线,所述天线经配置以将多路径信号随机化为噪声;以及垂直位置误差控制器,对所述控制器的输入为所述参考垂直位置信息和所述所确定的垂直位置信息,且所述控制器的输出将垂直位置校正信息提供到所述处理器以用于确定垂直位置。

[0018] 揭示另一种用于确定垂直位置的方法,其包含以下步骤:提供运动主体的导航级垂直加速度信息;提供所述运动主体的基于卫星的垂直位置信息;处理所述运动主体的所述垂直加速度信息以确定垂直位置信息;确定所述所确定的垂直位置信息与所述所提供的垂直位置信息之间的差;以及采用所述差来处理所述运动主体的所述垂直加速度信息。

[0019] 揭示又一种用于确定垂直位置的系统,其包含:导航级加速计,其用于确定运动主体的垂直加速度信息;处理器,其用于根据所述垂直加速度信息确定垂直位置信息;卫星导航接收器,其用于提供所述运动主体的参考垂直位置信息,其中所述接收器包括连接到所述卫星导航接收器的天线,所述天线经配置以使多路径噪声随机化;以及负反馈环路,其包括滤波器,所述负反馈环路的输入是所述参考垂直位置信息与所述所确定的垂直位置信息之间的差,且所述负反馈环路的输出为所述处理器以用于确定垂直位置信息。

[0020] 揭示另外一种用于以正负 1 厘米  $2\sigma$  确定垂直位置的方法,其包含以下步骤:使用卫星导航接收器确定垂直参考位置;相对于时间执行导航级加速计的输出的第一积分;使用所述第一积分的所述输出作为对相对于时间的第二积分的输入,以获得惯性垂直位置;延迟所述惯性导航位置以解决与所述全球导航系统接收器相关联的等待时间;从所述垂直参考位置减去所述经延迟的惯性位置;以及使用负反馈将所述差反馈到加速度和速度积分器,以便减少所述加速度和速度积分器中从所述加速计引入的误差。

## 附图说明

[0021] 可更容易地从参看附图所作的以下详细描述中理解本发明的特征,附图中:

[0022] 图 1 展示一般化垂直定位系统的框图;

[0023] 图 2 展示采用固定增益和负反馈环路的垂直定位系统的框图;

[0024] 图 3 展示包括卡尔曼误差估计器的垂直定位系统的框图;

[0025] 图 4 展示展现替代实施例的垂直定位系统的框图;以及

[0026] 图 5 展示说明根据本发明的一个实施例进行操作的垂直定位系统的一般架构的硬件图。

## 具体实施方式

[0027] 在一实施例中,惯性导航系统与全球导航卫星系统 (“GNSS”) 组合以获得用于建设设备 (例如,铺路机) 的垂直位置。此组合利用 GNSS 和惯性导航系统的属性,且减轻每一系统在单独使用时的固有限制。举例来说,惯性导航系统可包括导航级加速计。此类系统能够提供近似为零的等待时间和非常低的短期噪声;而 GNSS 提供长期误差稳定性。所属领域的技术人员将理解,导航级惯性系统含有陀螺仪和加速计,其足以准确地提供每小时小于 1.5km 的偏差。然而,当导航级惯性系统有用时,此类系统并不是本发明中所描述的每一实施例的所需元件。然而,已发现组合导航级惯性系统与包括多路径改善的 GNSS 系统是

有利的。此类混合系统可提供当今现代重型设备和严格项目规格所需要的 1 厘米 2  $\Sigma$  垂直位置准确性。

[0028] 在 GNSS 中,多路径指代沿两个或两个以上具有不等长度的路径到达 GNSS 接收器的天线处的卫星信号。多路径信号可由大气效应、来自附近水体的折射和 / 或反射以及例如山、建筑物和其它结构等陆地物体造成。多路径干扰可导致显著的准确性损失,例如致使所计算的接收器位置出现突然蠕变或移动,从而产生不可靠的位置准确性。因此,减少或消除多路径信号是 GNSS 接收器的目标,而且作为 GNSS 接收器的目标已有一段时间了。

[0029] 几年来,已构想出许多不同方法来在 GNSS 中减轻或消除多路径效应。举例来说,见题目为“在差分卫星定位系统中补偿多路径误差和电离层延迟 (Compensation for Multipath Errors and Ionosphere Delays in Differential Satellite Positioning Systems)”的第 5,563,917 号美国专利;题目为“多路径干扰的增强型抑制 (Enhanced Suppression of Multipath Interference)”的第 5,771,456 号美国专利;题目为“自适应多路径均衡 (Adaptive Multipath Equalization)”的第 5,630,208 号美国专利;题目为“用于在定时系统中处理多路径反射效应的方法和装置 (Method and Apparatus for Processing Multipath Reflection Effects in Timing Systems)”的第 6,252,546 号美国专利;题目为“用于伪距信号的多路径补偿 (Multipath Compensation for Pseudorange Signals)”的第 6,252,863 号美国专利;以及题目为“与全球定位应用中的多路径信号有关的移动天线相位阵列系统及其使用方法 (Moving Antenna Phase Array Systems Related to Multipath Signals in Global Positioning Applications, and Methods of Using)”的第 2004/0066335 号美国专利公开案;所述专利的全文均以引用的方式并入本文中。

[0030] 迄今,已构想出若干多种低通滤波器来消除或减少多路径效应,包括但不限于使用卡尔曼滤波器、莫里森滤波器和 / 或哈奇滤波器。可使用其它递归或预测与更新滤波器来减少或消除多路径效应,包括但不限于 INS 积分。出于本发明的目的,所属领域的技术人员已知的任何多路径减少或改善方法将为足够的。本发明解决可经由 GNSS 位置信息与惯性位置信息的组合获得的多路径效应的减少。

[0031] 采用多路径减少的 GNSS 接收器与导航级 IMU 的组合由于两种类型的系统中所存在的噪声和误差的性质而尤其为协同的。举例来说,GNSS 接收器的垂直位置解答中的多路径误差通常因参考天线处的漫游者天线移动和多路径抑制而具有具较低频率界限的功率谱。相反,对于导航级加速计来说,通过两次对所感测的垂直加速度求积分来计算的垂直位置误差将展现二次时间位置增长,其功率谱具有近似为零的频率带宽。

[0032] 倘若这两个功率谱大部分为不重叠的,那么经恰当设计的补充滤波器将组合两个数据源以产生积分解答,其中衰减两个垂直位置误差且满足垂直位置准确性规定。优选实施例使用卡尔曼滤波器来使用 GNSS 位置解答调节所有惯性导航误差,其中之一是垂直位置误差。卡尔曼滤波器执行对惯性和 GNSS 垂直位置解答的补充滤波,以便实现指定的准确性。

[0033] 使用在 x、y 和 z 轴上含有高准确性陀螺仪和加速计的昂贵导航级惯性测量单元从技术和成本观点来看是不必要的。虽然使用此类装置将在所有轴上实现良好的准确性,但其将为冗余的,因为只关注垂直轴。通过使用定位于垂直方向上的仅一个高准确性加速计以及用于 x 和 y 轴的较低成本惯性传感器,以合理成本实现所需要的垂直准确性。本文中

所描述的实施例为用以建构此类系统的不同方式的实例。

[0034] 图 1 中展示本发明的一个实施例的一般化框图。框 10 含有惯性测量单元,其大体上包括三个陀螺仪、两个中等准确性加速计,且可包括用于测量垂直方向上的加速度的高准确性加速计。高准确性加速计的输出接着由计算系统 12 处理,计算系统 12 使用两个积分器以及其它事物来计算垂直位置信息 $r_z^n$  14。对加速度的双积分是所行进的垂直距离,或在相对于已知参考位置来说时为高度。接着将此所计算的垂直位置信息 $r_z^n$  14 连同来自一个或一个以上 GNSS 接收器的参考垂直位置信息 $r_z^{GNSS}$  22 提供到垂直位置误差控制器 20。可采用额外的硬件和 / 或软件来实施增强型 GNSS。举例来说,可采用第二 GNSS 接收器来实施 RTK (或载波相位增强型 GNSS),或可采用差分 GNSS。垂直位置误差控制器 20 可包括固定增益垂直位置控制器和 / 或某种其它类型的估计器和误差控制器,例如卡尔曼滤波器。又,负反馈环路 16 向处理器 12 提供误差校正。

[0035] 参看图 2,展示具有固定增益垂直位置滤波器来以正负 1 厘米 2  $\Sigma$  的准确性确定垂直位置的实施例。具体地说,图 2 中所展示的垂直位置滤波器为三阶垂直滤波器,其类似于气压海拔从属式惯性导航系统中所找到的滤波器。然而,代替使用大气压作为参考海拔,参考海拔为 GNSS 解答的垂直分量。

[0036] 加速计三元组 30 包含三个加速计,其彼此正交布置。垂直加速计可为导航级伺服加速计(例如 Honeywell QA2000)。两个水平加速计可为较低级(可能是微机电 (“MEMS”))加速计。加速计三元组在传感器主体坐标框架 (b 框架) 中测量特定力向量 $\bar{f}^b$ ,所述传感器主体坐标框架近似地与刮板或其它设备的沿轨迹(距离)、跨轨迹(航向宽度)和垂直方向对准。

[0037] 2 轴倾斜传感器 56 相对于导航框架 (n 框架) 测量加速计三元组 10 的 x 和 y 轴的间距和滚动,所述导航框架为局部水平的且具有与 b 框架相同的方位角。将局部水平定义为表示正交于局部重力向量的导航框架 x 和 y 轴。

[0038] 2 轴倾斜传感器 56 的输出用以计算方向余弦矩阵 (“DCM”)  $C_b^n$  48,其使用乘法器 42 将 $\bar{f}^b$ 变换为 $\bar{f}^n = C_b^n \bar{f}^b$ 。进而经由求和器 44 针对重力 32 校正 $\bar{f}^n$ 的所得 z 分量以产生垂直加速度 $a_z^n$ 。首先使用积分器 34 相对于时间来对垂直加速度 $a_z^n$ 求积分以确定垂直速度 $v_z^n$ ,且接着通过加法器 36 对其进行校正(使用负反馈)。接着使用积分器 38 再次相对于时间对来自加法器 36 的所述经校正的总和求积分,以确定垂直距离位置或高度 $r_z^n$  40。

[0039] 图 2 所示的滤波器接着使用加法器 64 计算所计算出的高度 $r_z^n$  (其为垂直加速度值 $a_z^n$ 的双积分)与 GNSS 垂直高度或位置 $r_z^{GNSS}$ 之间的差 $\delta r_z^n = r_z^n - r_z^{GNSS}$ 。真实的垂直位置在相减中消去,从而留下位置误差 $\delta r_z^n$ 。正如在其它图式和本文中所描述的实施例中,GNSS 垂直位置可能来源于 RTK 或载波相位系统中的单个 GNSS 接收器和天线或多个接收器和天线。

[0040] 加法器 64 接着经由环路 52 使此差 $\delta r_z^n$ 反馈通过常数增益  $k_1$  来校正所计算的速度。所述差 $\delta r_z^n$ 还由常数增益  $k_3$  和积分器 68 相乘以确定加速度偏差 66。换句话说,积分器 68 累加垂直加速度偏差,其包括加速计偏差和重力校正误差。第三反馈环路 60 由与常数  $k_2$  相乘的差 $\delta r_z^n$ 提供。反馈环路 66 上的加速度偏差与反馈环路 60 上的 $k_2 \cdot \delta r_z^n$ 的总和由加法器 58 组合,且接着在加法器 44 处从垂直加速度 $a_z^n$ 减去。

[0041] 常数  $k_1$ 、 $k_2$  和  $k_3$  所表示的增益经设计以实现由双积分加速度提供的短期位置准确



性与由 GNSS 提供的较长期参考准确性之间的折衷。存在若干种途径来确定常数  $k_1$ 、 $k_2$  和  $k_3$ 。举例来说,一种途径是将垂直位置滤波器设计为维纳 (Wiener) 滤波器,且进而作为维纳滤波器实施方案的一部分来获得  $k_1$ 、 $k_2$  和  $k_3$ 。

[0042] 图 2 所示的固定增益垂直滤波器简单地通过在双积分的输出  $r_z^n$  与加法器 64 之间插入固定延迟 46 来补偿 GNSS 位置确定的等待时间。这引入环路延迟,所述环路延迟要求调整指派给常数  $k_1$ 、 $k_2$  和  $k_3$  的值以维持环路稳定性。较不准确的低等待时间解答是不需要的。此滤波器可容忍环路延迟的原因在于误差动态为低频率的。

[0043] 可针对假定的最大延迟来设计增益  $k_1$ 、 $k_2$  和  $k_3$ 。或者,可针对离散数目的延迟间隔来设计增益阵列。滤波器接着使用对应于实际延迟所属的间隔的增益集合。

[0044] 2 轴倾斜传感器 56 应以良好准确性测量全部倾斜动态范围。举例来说,如果刮板以恒定速度移动且经历缓慢的姿势改变,那么包括一对加速计 (或其等效物) 的倾斜传感器将为足够的。然而,较小的刮板可经历较高的动态,例如摇晃和摇摆。在此情况下,具有所需动态带宽的倾斜传感器可包括陀螺仪和加速计以及补充滤波器或全辅助型惯性导航系统 (“AINS”) 机械化。举例来说,使用微机电惯性测量单元 (“MEMS IMU”) 的位置与定向系统 (“POS”) 将在大动态范围内提供 0.1 度间距和滚动准确性,这对于此应用为足够的。

[0045] 现参看图 3 所示的实施例,所述设计类似于图 2 所示的固定增益滤波器,但在垂直位置误差估计和控制方法中有所不同。图 3 所示的卡尔曼滤波器 108 实施例如下式等垂直信道误差模型 (下文展示连续时间版本):

$$[0046] \quad \delta \dot{r}_z^n = \delta v_z^n$$

$$[0047] \quad \delta \dot{v}_z^n = \delta \alpha_z^n + \eta_a$$

$$[0048] \quad \delta \dot{\alpha}_z^n = \beta \delta \alpha_z^n + \eta_{\delta \alpha}$$

[0049] 这将加速度误差建模为一阶马尔可夫 (Markov) 过程加上随机噪声。卡尔曼滤波器状态向量由下式给出:

$$[0050] \quad \bar{x} = \begin{bmatrix} \delta r_z \\ \delta v_z \\ \delta \alpha_z \end{bmatrix}$$

[0051] 卡尔曼滤波器构造以下测量:

$$[0052] \quad z_r = \delta r_z^n = r_z^n - r_z^{GNSS}$$

[0053] 其直接观测垂直位置误差  $\delta r_z$ , 且允许卡尔曼滤波器 80 估计完全状态向量。误差控制器 102 将速度误差  $\delta \hat{v}_z$  和位置误差  $\delta \hat{r}_z$  的估计传送到相应的加速度积分器 84 和速度积分器 88, 且将卡尔曼滤波器状态校正为  $\bar{x} = \bar{x} - \bar{x}_{corr}$  以解决积分器校正。

[0054] 图 3 所示的装置以加速度数据速率 (通常 200Hz 到 1000Hz) 实施惯性积分, 且卡尔曼滤波器以 GNSS 位置数据速率 (通常 1Hz 到 10Hz) 实施惯性积分。此配置还允许将延迟 98 插入到误差控制环路中以处置来自 GNSS 接收器的潜在同步数据。误差控制器 102 经编程以缩放积分器复位以维持误差调节环路的稳定性。

[0055] 图 4 展示 Applanix 位置与定向系统 (“POS”) 91, 其惯性测量单元 (“IMU”) 120 经配置以在 z 轴上含有导航级加速计 126。或者, 垂直加速计与低成本 IMU 分开实施, 且其数据用以替代 IMU z 轴加速计数据。

[0056] 图 4 所示的辅助型惯性导航系统 (“AINS”) 在导航界中是众所周知的。惯性导航仪 122 使用来自惯性测量单元 (“IMU”) 120 加速计的测得加速度和来自 IMU 陀螺仪的角度变化来对近似球形地球上的运动实施牛顿平移和旋转等式。卡尔曼滤波器 134 经设计以估计 INS 位置、速度和定向误差以及 IMU 和 GNSS 误差。误差控制器 128 将所估计的 INS 误差转变为对惯性导航器 122 和卡尔曼滤波器 134 的校正。围绕惯性导航仪的闭环回路因此将 INS 误差调节到与 GNSS 位置准确性一致的准确性水平。图 4 所示的配置包括到卡尔曼滤波器 134 的 INS 位置中的延迟 130 以补偿 GNSS 等待时间。误差控制器 128 包括环路增益衰减, 其使误差调节环路保持稳定。更具体地说, 误差控制器 128 基于由卡尔曼滤波器 108 提供的信息而计算一个或一个以上复位向量, 且将所述一个或一个以上复位向量应用于积分器 84 和 88 以及加法器 86, 如图 3 所示。进而连续减小 INS 误差, 且将其维持于比可在没有滤波的情况下获得的量值显著要小的量值处。

[0057] 图 4 所示的 AINS 实施例提供特定力向量的高动态主体到导航仪框架变换。AINS 位置解答的垂直分量接着输出到刮板控制器 124, 如图 4 所示。

[0058] 上述系统和方法可通常并入到如图 5 所示的组合 GNSS-IMU 控制系统中。IMU 158 为单个刚性组合件, 其含有例如英特森斯 (Intersense) 导航芯片等 MEMS IMU 160 和与 MEMS IMU 160 的 z 轴对准的例如霍尼韦尔 (Honeywell) QA2000 等导航级加速计 150。高准确性加速计 150 通常需要数字化器来将其模拟输出转换为增量速度的数字样本, 其与 MEMS 的惯性取样时间同步。

[0059] 特林布尔 (Trimble) AP 154 含有调查级 GNSS 接收器 (例如, 特林布尔 BD960) 和微核 (MicroCore) 计算机/处理器板, 其实施图 4 所示的惯性导航仪 122、卡尔曼滤波器 134 和误差控制器 128。特林布尔 AP 154 包括 GNSS 天线 152 和电缆。微核处理器板包括到无线电调制解调器 156 的串行接口, 所述无线电调制解调器 156 为来自参考接收器 166 的 RTCM 或 CMR 差分 /RTK 数据记录的来源。无线电调制解调器接收器 156 连接到微核处理器板。

[0060] 参考接收器台 170 包含参考接收器 166、GNSS 天线 164 和无线电调制解调器发射器 168。与特林布尔 AP 154 串联的参考接收器台实施 RTK 或载波相位增强型 GNSS, 其在此项技术中是众所周知的。

[0061] 用于参考接收器 166 的天线 164 位于参考位置处, 将依据所述参考位置来控制铺路机刮板位置。参考接收器 166 使用无线电调制解调器发射器 168 来广播差分数据, 所述差分数据通常采用工业标准格式 (RTCM 类型 18/19/21/22 或 CMR-Plus)。

[0062] 安装于刮板上的漫游者单元 162 从参考接收器台 170 接收差分数据, 且计算具有所需 1 厘米  $\Sigma$  垂直位置准确性的完整 POS 导航解答。特林布尔 AP 154 中所实施的 AINS 算法使卡尔曼滤波器延迟以适应潜在差分 GNSS 消息。只要所述延迟为 3 秒或更少, POS 导航解答等待时间就不受此卡尔曼滤波器延迟影响。POS 导航解答的垂直位置分量输出到刮板控制器。此配置适用于所有尺寸的铺路机和铺路机可能产生的所有动态。

[0063] 本文中所描述的本发明的应用不限于铺路机或道路修建设备。本文中所描述的系统和方法同样适用于需要大量垂直精度的其它类型的重型机械和劳动, 例如在准确的最佳深度处种植种子、确保建筑物的地基为水平的且以高度精确性位于特定深度处等等。

[0064] 其中, 本发明中的 RTCM 代表海事服务无线电技术委员会。在差分 GPS 的早期, RTCM 为将差分校正数据发送到 GPS 接收器设立标准格式。CMR 或契约测量记录由特林布尔

(Trimble) 公司开发,且指代与 RTCM 相比带宽更高效的用于差分 GPS 的协议。RTK 代表实时运动学,且使用一个或一个以上参考接收器台来创建数据校正套组,其发射到漫游者 GNSS 接收器以提供相对于参考台中的一者或相对于虚拟参考台的高准确性定位。

[0065] 所属领域的技术人员将想到另外的变型和修改。本发明仅用于说明性目的,且其范围将仅由所附权利要求书来衡量或界定。

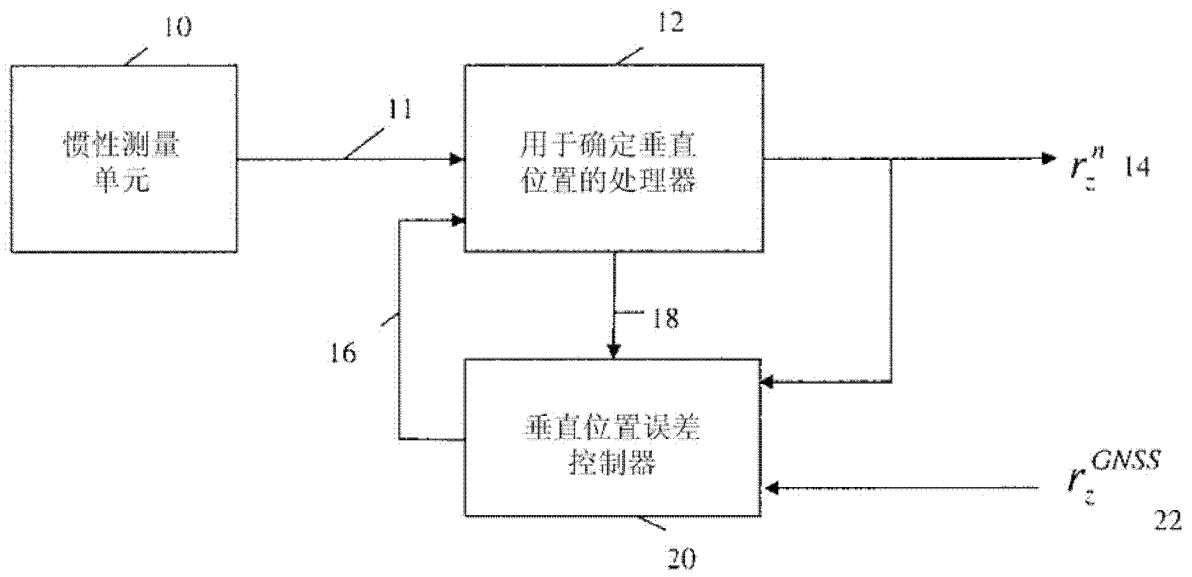


图 1

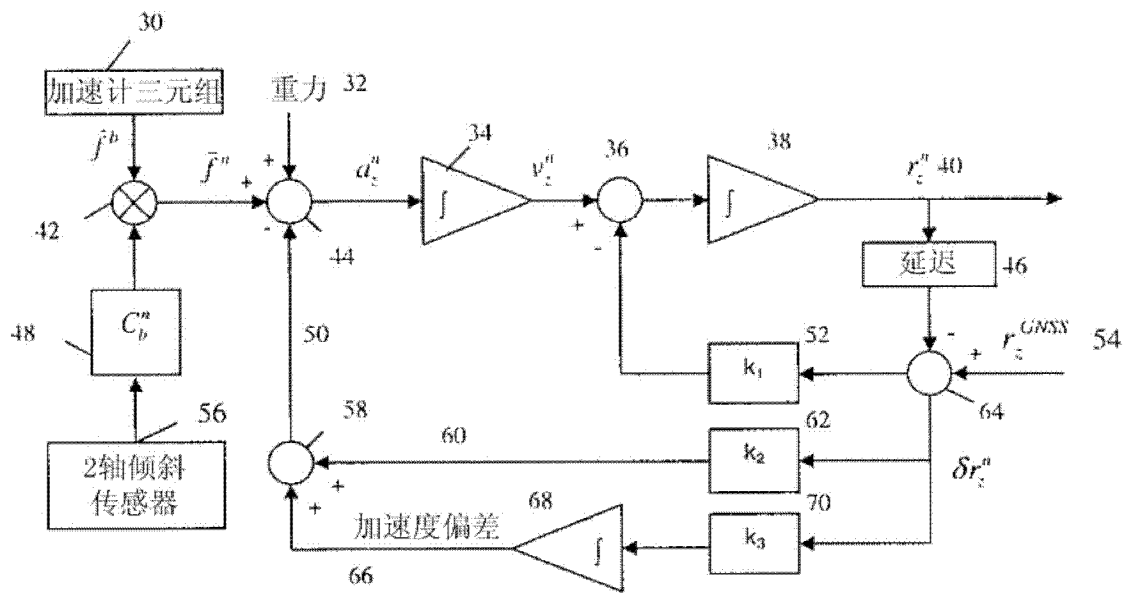


图 2

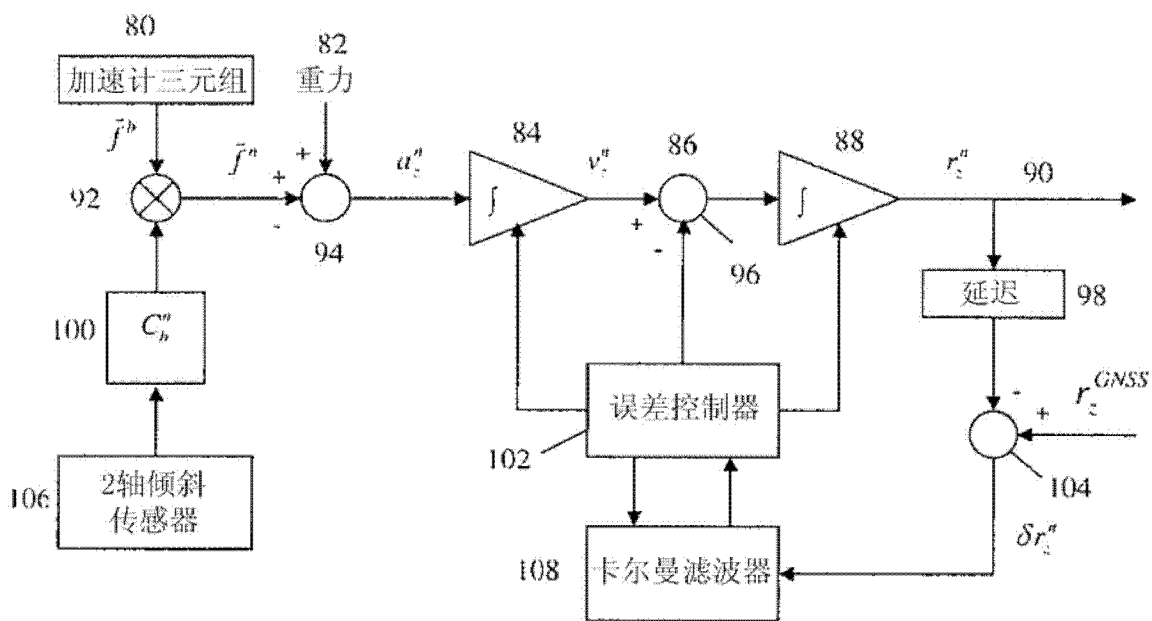


图 3

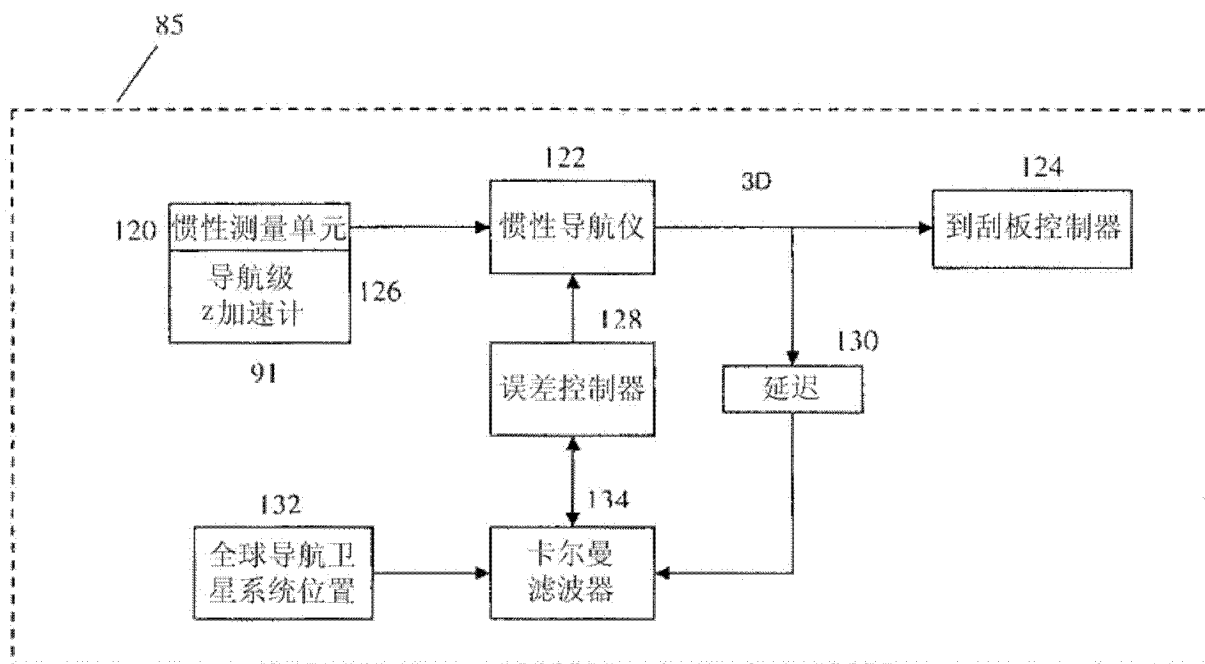


图 4

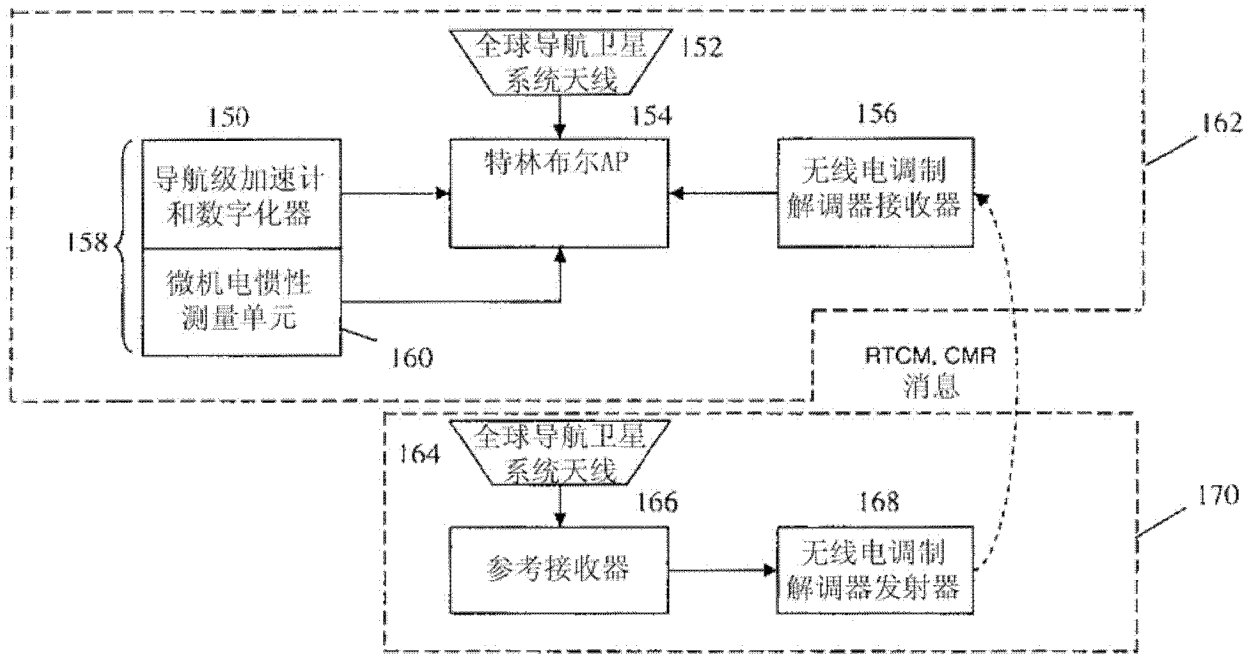


图 5