



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103283162 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 04

(21) 申请号 201080068921. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 11. 16

H04B 13/02 (2006. 01)

H04B 7/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/365, 092 2010. 07. 16 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 03. 01

(86) PCT申请的申请数据

PCT/CA2010/001808 2010. 11. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02012/006711 EN 2012. 01. 19

(71) 申请人 维拓警报通信公司

地址 加拿大安大略省

(72) 发明人 M·罗珀 M·斯维兰斯

P·克瓦斯尼奥克 V·普扎科维

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华

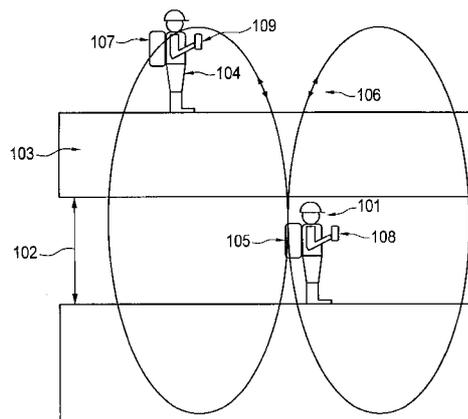
权利要求书2页 说明书14页 附图11页

(54) 发明名称

便携式透地无线电设备

(57) 摘要

本发明提供一种便携式透地无线电 (PTTER) 装置。PTTER 提供在表面无线电设备与便携式无线电之间的双向语音和 / 或数据通信。PTTER 也提供具有主环和一个或者多个副环的发送天线, 一个或者多个副环被配置为增加主环产生的磁场。PTTER 也提供可以围绕外形缠绕以用于运输的可携式环形天线。PTTER 也提供对于实施噪声消除而言最优的接收天线。PTTER 也提供用于检测距离和方向以增加 PTTER 的有效范围的导航子系统。可以在背包外形规格中实施 PTTER。



1. 一种透地无线电装置,其特征在于,能够进行磁感应信号的双向通信的表面无线电设备和便携式无线电设备。
2. 根据权利要求1所述的透地无线电装置,其特征在于,所述表面无线电设备和所述便携式无线电设备被同步,以借助于时分双工磁场来有选择地发送所述信号。
3. 根据权利要求2所述的透地无线电装置,其特征在于,所述表面无线电设备和所述便携式无线电设备中的一个无线电设备限定主无线电设备,而另一个无线电设备限定副无线电设备,其中借助于从所述主无线电设备向所述副无线电设备发送的同步帧来实现所述同步,所述同步帧使所述副无线电设备能够建立所述主无线电设备的符号时序。
4. 根据权利要求1所述的透地无线电装置,其特征在于,所述表面无线电设备和所述便携式无线电设备中的至少一个无线电设备还包括导航子系统,所述导航子系统可操作以根据已知的起始点来确定所述至少一个无线电设备的位置并且借助于所述信号来向另一个无线电设备发送所述位置。
5. 根据权利要求2所述的透地无线电装置,其特征在于,所述时分双工磁场具有可以被降低至小于5%的占空比。
6. 根据权利要求1所述的透地无线电装置,其特征在于,所述信号被相位调制。
7. 根据权利要求1所述的透地无线电装置,其特征在于,所述信号被幅度调制。
8. 根据权利要求1所述的透地无线电装置,其特征在于,所述信号是正弦波。
9. 根据权利要求2所述的透地无线电装置,其特征在于,所述信号包括多个帧,每个帧由三段限定,其中所述段包括发送时间、接收时间和防护时间。
10. 根据权利要求2所述的透地无线电装置,其特征在于,所述信号包括多个帧,所述多个帧是同步帧、数据帧和空帧。
11. 一种透地便携式无线电设备,其特征在于,
 - (a) 发送天线;
 - (b) 接收天线;以及
 - (c) 无线电电路,链接到所述发送天线和所述接收天线,所述无线电电路可操作以:
 - (i) 生成可由所述发送天线将其作为时分双工磁场向表面无线电设备发送的时分双工信号;以及
 - (ii) 在所述接收天线从所述表面无线电设备接收时分双工磁场时,对所述信号进行解码。
12. 根据权利要求11所述的透地便携式无线电设备,其特征在于,所述时分双工信号由脉宽调制放大器生成。
13. 根据权利要求12所述的透地便携式无线电设备,其特征在于,所述无线电电路包括用于防止所发送的时分双工信号中的失真的电流控制反馈回路。
14. 一种用于透地无线电通信的发送天线,其特征在于,
 - (a) 主环形天线,所述主环形天线被配置为以操作频率发送磁场信号;以及
 - (b) 一个或者多个副环形天线,与所述主环形天线同轴地形成环形;其中所述一个或者多个副环形天线增大所述主环形天线所产生的所述磁场。
15. 根据权利要求14所述的发送天线,其特征在于,所述一个或者多个副环被调谐至比所述主环更高的频率。

16. 根据权利要求 15 所述的发送天线,其特征在于,所述更高的频率近似为所述操作频率的两倍。

17. 根据权利要求 14 所述的发送天线,其特征在于,所述主环形天线由多匝形成并且以所述操作频率谐振。

18. 根据权利要求 14 所述的发送天线,其特征在于,所述主环形天线包括串联连接的多个螺线。

19. 根据权利要求 14 所述的发送天线,其特征在于,所述操作频率在 1 至 30kHz 的范围内。

20. 一种接收天线,可与具有无线电电路的透地无线电设备一起操作,所述接收天线的特征在于三轴阵列天线,其中所述无线电电路包括可操作以从所述接收天线所接收的信号中降低或者消除噪声的噪声消除子系统。

21. 根据权利要求 20 所述的接收天线,其特征在于,所述三轴阵列天线包括各自缠绕有多匝的三个环形天线、加载铁氧体的环形天线和 / 或铁氧体棒。

22. 一种用于透地无线电通信的可携式环形天线,其特征在于,具有沿着平面呈梯形缠绕的一个或者多个环的天线。

23. 根据权利要求 23 所述的可携式环形天线,其特征在于,所述天线结合到柔性材料,所述柔性材料能够围绕外形缠绕以用于运输。

24. 根据权利要求 24 所述的可携式环形天线,其特征在于,所述外形是圆柱体外形。

25. 一种便携式透地无线电设备,其特征在于,

(a) 壳体;

(b) 无线电电路,设置于所述壳体内;

(c) 发送天线,设置于所述壳体中或者从所述壳体延伸并且电连接到所述无线电电路;

(d) 电池包,设置于所述壳体内并且电连接到所述无线电电路;

(e) 接收天线,设置于所述壳体内并且电连接到所述无线电电路。

26. 根据权利要求 25 所述的便携式透地无线电设备,其特征在于,所述壳体包括用于支撑所述无线电电路、所述发送天线、所述电池包和所述接收天线的框架。

27. 根据权利要求 25 所述的便携式透地无线电设备,其特征在于,所述壳体包括一个或者多个背带,以提供用户可背的背包。

28. 根据权利要求 25 所述的便携式透地无线电设备,其特征在于,所述发送天线是环形天线,所述环形天线被设置成使得其环的轴线是垂直的。

29. 根据权利要求 25 所述的便携式透地无线电设备,其特征在于,所述无线电电路设置于屏蔽罩内。

30. 根据权利要求 25 所述的便携式透地无线电设备,其特征在于,所述接收天线包括三轴正交天线。

31. 一种用于信号的透地双向传输的方法,所述方法的特征在于:

在表面无线电设备与便携式无线电设备之间借助于时分双工磁场来有选择地发送信号。

便携式透地无线电设备

技术领域

[0001] 本发明一般涉及一种可操作以透过大地或者其它厚实心屏障发送和接收信号的无线电设备。本发明更具体地涉及一种可操作以透过大地或者其它厚实心屏障发送和接收信号的便携式无线电设备。

背景技术

[0002] 已知大多数当前无线通信技术不能穿越由例如岩石、混凝土或者土壤的材料制成的厚实心屏障。在高于数 kHz 的频率下,这些弱传导材料的趋肤深度很小,并且电磁波被衰减至其中通信在即使短距离 (< 1m) 内也不可能的点。在比如隧道和矿井的工作环境中,工人因此不能容易地例如与位于隧道的不同部分或者位于大地的表面上方的监督者或者其他工人通信。

[0003] 这样的通信系统不仅对于平常的日常工作有用,而且它们在紧急时间也是不可或缺的。例如,如果隧道塌陷而工人身陷其内,则提供这样的通信可以显著减少发现和援救被困工人的时间。这将提供拯救工人生命的可能性的显著提高。

[0004] 已经提出对提供透地通信这一问题的多个解决方案。最简单的是提供在工人与他们与之通信的人员之间的有线链路。然而,这显然使工人受导线的长度约束或者要求工人在导线的终结端这一具体位置以发起通信。特别是为很长隧道和矿井铺设充足的导线也很昂贵。另外,在急救时间,特别是矿井塌陷或者相似事件或者甚至仅由于磨损和破裂,导线易于被切断从而使介质不可用。

[0005] 因此,也已经提出用于透地通信的一些无线解决方案。

[0006] David Reagor 等人的第 7,043,204 号美国专利教导了一种用于有效的透地通信的方法和装置,该方法和装置包括信号输入设备并且具有模数转换器,该信号输入设备连接到在充分低的预定频率操作以透过大地有效地穿透有用距离的发射器,该模数转换器接收信号输入并且向连接到编码处理器的数据压缩电路传递信号输入,向数模转换器提供编码处理器输出。放大器从数模转换器接收模拟输出用于放大所述模拟输出并且向天线输出所述模拟输出。具有天线的接收器接收模拟输出并且向带通滤波器传递模拟信号,该带通滤波器的输出连接到向解码处理器提供数字信号的模数转换器,该解码处理器的输出连接到数据解压器,该数据解压向数模转换器提供解压的数字信号。音频输出设备从用于产生可听输出的数模转换器接收模拟输出。

[0007] David Reagor 等人的第 7,149,472 号美国专利教导了一种透地通信系统,该通信系统包括:数字信号输入设备;发射器,在充分低的预定频率操作以透过大地有效地穿透有用距离;数据压缩电路,连接到编码处理器;放大器,从编码处理器接收编码的输出以用于放大输出以及向天线传输数据;以及接收器,具有天线、带通滤波器、解码处理器和数据解压器。

[0008] 这两份专利提供一种无线透地通信手段。然而,在它们的设计中固有的是需要相对大而重的装备。具体而言,实现如这些专利教导的通信所需的信号强度要求发射器生成

相对大的低频磁场。通过发送环绕导线环天线的交变电流来生成磁场,该磁场的尺寸与电流的幅值和导线环的面积成比例。对于 500 英尺的链路,电流可以是 10A,并且环面积为 50 平方米。用于这些设备的电源因此一般相对大而重。因此,便携单元至多可以仅用作接收器。如果这样的设备具有发射器,则工人一般不可能携带或者容易移动它。天线的尺寸还防止调整这些专利以用于移动使用。也很难在这样的低频率传输语音信号。出于这些原因,这两份专利均未公开用于双向的透地无线电设备的移动实现方式。

[0009] Larry G. Stolarczyk 等人的美国专利第 5,093,929 号教导了一种用于使用地下矿井通信系统以实现矿井范围的通信并且将本质上安全的电流限制器电路用于保证系统中的电装备不会引起燃烧条件的方法。地下矿井通信系统包括多个重发器和包括移动、便携时和个人携带的无线电设备的中频无线电设备,这些重发器和无线电设备例如由调谐环形天线耦合到电导体和煤层形成的在大地中存在的自然波导。导体或者自然波导向重发器输送无线电设备所发送的消息。重发器放大、复制并且在两个不同频率重传消息以用于向表面基站和向系统中的另一无线电设备传输消息。具有单独重发器集合的寻呼系统也由调谐环形天线耦合到电导体和自然波导的网络。寻呼系统提醒矿工联系表面基站。系统中的无线电、寻呼器和重发器配备有本质上安全的电流限制器电路以排除形成燃烧条件。电流限制器电路包括由反馈控制放大器控制的电流断路电路、冗余电流断路电路和电流限制场效应晶体管的串联布置。

[0010] Larry G. Stolarczyk 的第 4,777,652 号美国专利教导了一种在中频范围 (300kHz 至 3MHz) 中可操作以用于地下矿井通信的无线电通信系统,该无线电通信系统将 MF 载波信号耦合到向矿井和矿井内的设备内延伸的现有传导通道中并且耦合到传导通道,以用于接收 MF 载波信号而且与在 MF 频率范围中和在常见缝合 (seam) 模式中可操作的便携式移动收发器通信。这一专利需要用于传达信号的传导通道,比如导线。

[0011] Zvi H. Meiksin 等人的第 7,050,831 号美国专利教导了一种用于在能量传输有限的范围内通信的方法和系统。遍布场所的多个 RF 收发器位于场所范围内,从而在场所内的其中希望通信的区域位于 RF 收发器中的至少一个 RF 收发器的范围内。在每个位置,RF 收发器连接到控制单元。控制单元向收发器提供功率并且允许音频 / 语音和 / 或数字信息的双向通信。控制单元可以使用类别 5 这一标准网络类型或者等效线缆来相互联网并且可以经由网络连接相互通信。控制单元也可以通过使用交变电流调制解调器经由交变电流功率线来联网。收发器利用单个边带调制器以调制语音和 / 或数字信号。

[0012] Louis H. Rorden 等人的第 4,710,708 号美国专利教导了一种定位方法,其将相对低频率的电磁场、例如 1-1000Hz 用于通过使用矢量场接收器来确定传输磁偶极天线的相对位置和 / 或定向。用于地下位置的发送天线优选地是具有铁磁芯的单轴伸长螺线管。接收传感器可以是磁力计或者搜索线圈类型的精确三轴磁场检测器。针对发射器或者接收器的一个或者多个位置或者用一个或者多个发射器或者接收器进行测量。通过相继逼近方法关于某一已知调查站计算发射器和接收器的相对位置。选择操作频率以最小化来自常见钢结构 (比如管道、外壳体或者铁路轨) 的场失真并且最小化比如来自大地中的同质物中的传导的场散射。可以在金属结构 (比如外壳) 内操作发射器或者接收器。该方法可以用于地下钻孔或者管线的定位;被陷矿工的定位;作为比如地下矿井中的盲目调查手段;或者作为比如相对浅的水平或者竖直钻探或者隧道中或者抬高钻孔挖掘的导航手段。

[0013] 尽管这些专利中的每份专利都描述了透地通信的移动无线实现方式,但是它们都需要某一形式的重发器或者其它固定基础结构以用于在便携式无线电设备与表面无线电设备之间中继消息。重发器处于地下环境中的固定位置,从而代表大量基础结构投资,这可能在仅偶然访问的地下环境、比如管线和下水道中不切实际。然而,在紧急情况下,可能损坏或者甚至破坏重发器中的任何或者所有重发器。类似地,如果重发器停用,则便携式单元将无用。在洞穴的情况下或者在隧道中,在重发器与便携式单元之间的高频无线通信将不工作,因为它们将必须经过岩石行进。附加地,与固定应用相似,这些重发器也将需要大而重的电源,因此不适于便携性。

[0014] Mark Rhodes 等人的第 20080009242 号美国专利公布文本教导了一种包括发射器、接收器和磁耦合天线的通信系统。发射器在数字调制的电磁或者磁信号中传输信号。提供用于接收数字调制的电磁信号或者磁信号的接收器。发射器和接收器中的至少一个在地下并且具有磁耦合天线。Rhodes 提出一种与 Reagor 教导的系统很相似的低频通信系统。Rhodes 提出将简单环形天线用于传输,从而没有对功率消耗和天线尺寸问题的新解决方案。

[0015] 另外,本领域技术人员将理解, Rhoades 提出的天线忽略了与用于 TTE 通信的紧凑天线设计有关的若干基本问题。例如, Rhoades 提出使用具有 1m 的直径和 100 匝的简单未调谐环形天线而未公开这样的天线(该天线具有 52mH 的电感和在 5kHz 的引用频率下为 +j 1600 欧姆的电抗)如何可以被发射器驱动。为了向这一天线中驱动仅 1A 的电流(这将提供仅 100Am² 的偶极矩),将需要有输出电压超过 1.5kV 的发射器。这对于如在地下环境中使用的便携式或者甚至固定装备而言不切实际。Rhoades 也教导可以通过使用形式为螺线管的线圈来减少天线尺寸,该螺线管包围更高导磁率的材料,比如铁氧体。这未解决将在为了在有用距离内传输而需要的通量密度水平出现的芯饱和问题并且实际上是这一类型的天线为何至今才已经在 TTE 或者其它应用中用作接收天线的原因。

[0016] 其它现有技术涉及用于水下通信的低频天线。

[0017] Mark Rhodes 等人的第 2455909 号英国专利教导了一种由多个平面阵列环形成的天线,因为在天线区域以内的相邻环中的电流抵消,所以它具有更低电感,在此基础上,该专利声称需要比等效单个环更低的电压电源。然而,就这一布置而言显然的是,针对给定的偶极矩,天线的功率消耗与用来形成天线的阵列数目成比例增加。在便携式应用、比如便携式透地应用中,有必要最小化功率消耗。

[0018] Mark Rhodes 等人的第 2455653 号英国专利教导了一种具有多个谐振环的天线,其中环被相互耦合和调谐,从而各自在与所需传输频率接近的频率谐振以便增加天线的阻抗带宽。就这一点而言,天线与调谐带通滤波器很相似,在该调谐带通滤波器中调整在频率上紧密相间的两个谐振器之间的耦合以获得给定的带通响应。然而,在便携式应用中优选增加天线的偶极矩并且收窄主天线的带宽。

[0019] Mark Rhodes 等人的第 2455654 号英国专利教导了一种旨在通过创建 E 和 H 场分量来合成极低频率平面波的小型电子天线。然而,对于在地上和地下环境中使用的便携式设备,介电介质是空气,并且这需要在身体上佩戴的单元中生成可能产生安全危险的很高交变电压以及需要单独发射器电路。

[0020] Mark Rhodes 等人的第 2455908 号英国专利教导了一种方法,其中一个或者多个

铁氧体接收天线放置于与发送环形天线的轴正交的方向上,以便最小化它们之间的耦合并且因此防止发射器使接收器去敏。然而,将优选无需在接收与发送天线之间的任何特定定向。

[0021] Mark Rhodes 等人的第 2455910 号英国专利教导了一种用于低频水下通信的可佩带天线。它举例说明了多个天线定向,在这些天线定向中,低频环环绕用户身体的一部分。描述的实施方式具有多个实际弊端,这些弊端包括约束用户的移动、所述移动在天线绕组上施加的应力和用户暴露于环形天线产生的磁场的全强度。

[0022] 因此,显然需要向这些工人提供一种透过大地和其它物理屏障以进行无线通信、而又保持他们的移动性并且无需依赖于重发器装备或者其它基础结构的可靠通信手段。在提供这样的技术时的主要挑战是小型化,特别是用于发射器和发送天线的装备的尺寸和重量以提供便携性。最重要的是,用于发射器的电源和天线结构二者必须小而轻到足以由工人携带。为了提供这样的特征,将必须开发一种用于实现传输功率比目前存在的传输功率显著更少的透地通信的技术,并且将需要一种更高效的天线设计。这些至今尚未被实现。

[0023] 因此需要一种透地无线电设备,其中布置该设计的所有方面使得最小化传输功率和天线尺寸以实现便携性。

发明内容

[0024] 本发明提供一种透地无线电装置,该无线电装置具有如下特征:被同步以借助于时分双工磁场有选择地传输信号的表面无线电设备和便携式无线电设备。

[0025] 本发明也提供一种透地便携式无线电设备,该无线电设备具有如下特征:(a) 发送天线;(b) 接收天线;以及(c) 无线电电路,链接到发送天线和接收天线,无线电电路可操作以:(i) 生成可由发送天线将其作为时分双工磁场向表面无线电设备传输的时分双工信号;并且(ii) 在接收天线从表面无线电设备接收时分双工磁场时对信号解码。

[0026] 本发明还提供一种用于透地无线电通信的发送天线,该发送天线具有如下特征:(a) 主环形天线,该主环形天线被配置为发送操作频率的磁场信号;以及(b) 一个或者多个副环形天线,与主环形天线同轴地形成环形,一个或者多个副环形天线被调谐至比操作频率更高的频率;其中一个或者多个副环形天线增加主环形天线所产生的磁场。

[0027] 本发明还提供一种用于透地无线电通信的可携式环形天线,该可携式环形天线以具有沿着平面呈梯形缠绕的一个或者多个环的天线为特征。

[0028] 本发明还提供一种用于透地双向传输信号的方法,该方法具有如下特征:在表面无线电设备与便携式无线电设备之间借助于时分双工磁场有选择地传输信号。

[0029] 就这一点而言,在具体说明本发明的至少一个实施方式之前,将理解,本发明在它的应用上不限于在下文描述中阐述的或者在附图中示出的构造细节和部件布置。本发明能够有其它实施方式并且以各种方式来实施和实现。也将理解,这里运用的措词和术语是用于描述的目的而不应视为限制。

附图说明

[0030] 图 1 示出了根据本发明的 PTTT 的示例性使用。

[0031] 图 2 示出了根据本发明的提供便携式无线电设备的电子电路的示例。

- [0032] 图 3 示出了常规 VLF 发射器。
- [0033] 图 4 示出了根据本发明的发送天线。
- [0034] 图 5 示出了可与 PTTER 一起操作的可携式环形天线。
- [0035] 图 6 示出了根据本发明的通过脉宽调制对信号的传输。
- [0036] 图 7 示出了传输的信号星座中的失真。
- [0037] 图 8 示出了根据本发明的 TDD 帧的示例。
- [0038] 图 9 示出了根据本发明的使用 TDD 以减少功率消耗。
- [0039] 图 10 示出了导航子系统的的使用示例。
- [0040] 图 11 示出了根据本发明的背包的示例。
- [0041] 图 12 示出了根据本发明的用户接口。
- [0042] 图 13 示出了根据本发明的接收天线阵列。

具体实施方式

[0043] 本发明提供一种包括表面无线电设备和便携式无线电的、便携式透地无线电 (PTTER) 的装置。应当理解,本发明涉及“透地”通信,但是这指代无线通信的其它物理屏障、如比如厚壁并且在无任何物理屏障时也可操作。

[0044] 本发明的表面无线电设备可以部署于大地的表面上(例如直接在大地上或者装配到车辆)或者部署于地下位置并且可以是固定的、可携式或者便携式的。便携式无线电可以远离表面无线电设备部署于地下。也应当理解,本发明的便携式无线电也可以被适配用于固定或者可携式实现方式。PTTER 与现有技术应用的不同之处在于便携式无线电可操作以与表面无线电设备无线和直接通信而不使用重发器、而又可用实现便携性的尺寸和重量实施,比如以便由人员携带或者佩戴。表面无线电设备可以在构造上基本上与便携式无线电相似,并且出于该原因,下文公开内容仅描述便携式无线电的构造和使用。对应地,应当理解在一个方向上(比如从便携式无线电到表面无线电设备)的通信适用于在另一方向上的通信。

[0045] 本发明提供一种能够双向通信的 PTTER。本发明也提供一种具有能够比现有技术天线有更大透地范围的发送天线的 PTTER。本发明还提供一种可与噪声消除子系统一起操作以进一步增强更大的透地通信的接收天线。本发明还提供一种可以在能够卷成圆柱体的灵活外形规格中实施的、能够延伸传输范围的可携式环形天线。本发明还提供一种用于增加它的有效操作范围的导航子系统。本发明还提供一种可以在背包外形规格中实施的 PTTER。

[0046] 图 1 示出了根据本发明的 PTTER 的示例性使用。第一用户 (101) 可以在被岩石、土壤、混凝土或者其它适度传导材料 (103) 从表面分离的隧道或者其它空间 (102) 以内的地下。第一用户可以经由便携式无线电设备 (105) 与位于表面的第二用户 (104) 通信,该便携式无线电设备 (105) 可以辐射表面无线电设备 (107) 可检测的磁感应信号,比如低频磁场 (106)。每个用户可以具有允许他们发送和接收数据或者语音消息的用户接口 (108)、(109)。

[0047] PTTER 可以提供磁感应信号的双向通信。可以通过实施时分双工以交替传输方向并且允许通信在两个方向上进行来提供双向通信。备选地,可以通过实施频分双工以提供

用于每个传输方向的单独通道来提供双向通信。时分双工与频分双工相比可能是有利的，因为对于比如透地的特定介质，有可能用于实施频分双工的频率间距较窄，因此次优。

[0048] 本发明的 PTTER 提供的双向通信之所以有益，首先是因为它实现双向数据和 / 或语音通信，而且因为它实现了一种用于监控表面无线电设备与便携式无线电设备之间的连接性并且因此减少另一无线电设备的存在的方便手段。

[0049] PTTER 可以通过同步表面无线电设备和便携式无线电设备以借助作为载体信号的时分双工磁场有选择地传输信号来实现双向语音和 / 或数据通信。实施同步的具体方法具有使每个无线电设备能够确定另一无线电设备是否在通信范围内的附加益处。

[0050] 根据本发明的便携式无线电设备（和表面无线电设备）可以包括发送天线，该发送天线具有主环和耦合到主环并且与主环同轴对准的副环。主环可以被调谐至特定频率（例如 PTTER 的操作频率），而副环可以被调谐至更高频率（例如主环被调谐到的频率的近似两倍）以便增大发送天线产生的总磁场。主和副环也可以具有多匝，以增大发送天线的偶极矩和范围。总磁场的增大在增大透地无线电设备的范围时是有利的。

[0051] 根据本发明的便携式无线电设备（和表面无线电设备）也可以包括被配置为优化噪声减少或者噪声消除、因此优化信号接收的接收天线。接收天线可以是三轴正交天线阵列，该三轴正交天线阵列由于它的正交定向而实现有效和高效的噪声消除。

[0052] 发送和接收天线设计二者也可以提供最小化的尺寸和功率消耗以进一步促进便携性。热切希望功率消耗减少，因为电池尺寸和重量直接影响便携性。更低重量的 PTTER 促进更高的便携性。

[0053] 也可以提供用于延伸 PTTER 的传输范围的可携式环形天线。可携式环形天线可以是以一个或者多个导线环的形式布置的环形天线，该一个或者多个导线环缠绕成梯形形状并且结合到柔性材料，而且可以围绕圆柱体外形缠绕以用于运输。导线环可以备选地缠绕成螺旋形状。可携式环形天线提供了一种用于延伸 PTTER 的范围的方便便携手段。

[0054] 根据本发明的便携式无线电设备（和表面无线电设备）也可以包括导航子系统，该导航子系统可以确定便携式无线电设备距已知起始点的位置并且向表面无线电设备传输这一信息从而允许便携式无线电设备和表面无线电设备的用户跟踪彼此的移动以便使它们能够在长距离行进之时保持在通信范围内。

[0055] 本发明还提供一种可以以背包外形规格实施的 PTTER。该背包可以被配置为包括上述特征中的一些或者所有特征而又轻质并且尺寸便于人员佩戴。

[0056] 为了实施双向性，根据本发明的时分双工信号可以包括实现在表面无线电设备与便携式无线电设备之间的同步和链路可用性的帧结构。时分双工磁场也通过允许减少发射器电流直至接收（在另一无线电设备处的）信号质量降至预先配置的阈值以下来实现表面无线电设备和便携式无线电设备的发射器的功率消耗的最小化。

[0057] 也可以提供低占空比通信信号以最小化功率消耗并且因此进一步促进便携性。便携式无线电设备（和表面无线电设备）也可以可操作以通过提供一个或者多个预先配置的和编索引的语音和 / 或文本消息来减少功率消耗，该语音和 / 或文本消息可以通过从便携式无线电设备向表面无线电设备发送短码字来传输。

[0058] 便携式无线电设备可以包括天线、无线电电路（包括收发器电子器件）和电源。便携式无线电设备可操作以与表面无线电设备通信，该表面无线电设备例如实现为固定的、

可携式或便携式收发器,该收发器例如位于地下环境中的别处或者位于大地表面以上。图2示出了提供根据本发明的便携式无线电设备的电子电路的示例。该电子电路可以包括:壳体(202),发送天线(203),接收天线阵列(204)、(205)、(206)和用户接口(207),其中壳体(202)具有与内部或者外部电池包(201)的电连接。电源可以是具体用于实施表面无线电设备的市电电源,然而表面无线电设备也可以由电池包供电。

[0059] 图12示出了根据本发明的用户接口。用户接口(1201)可以由内置显示器、电连接的显示监视器或者与PDA、智能电话、移动电话、写字板或者具有显示器的其它设备的有线或无线链接提供。用户接口也可以包括用于指示关键条件(比如功率电平、报警状态、同步状态和发射器活动)的一个或者多个LED(1202)。可以在显示器(1203)上提供具体可视信息,并且显示器(1203)可以可操作以向用户显示来自导航子系统和数据消息的信息。可以提供输入设备(1204)(比如触摸板、滚轮或球)以选择用户接口上的命令,这些命令包括预先配置和编索引的文本或者语音消息。可以提供物理或者可视键区(1205)以用于文本和数据的直接输入。可以提供麦克风(1206)和扬声器(1207)以支持语音通信。

[0060] 最优地,在两个单独印刷线路板(PWB)或者印刷电路板(PCB)、发射器PWB(208)和DSP PWB(211)上提供无线电电路,以便将高电流传输部件与对噪声敏感的模拟和数字硬件分离。发射器PWB可以包括能够用传输电流驱动低阻抗天线的有效脉宽调制(PWM)放大器。在一个示例中,可以提供近似30A峰值的传输电流。电池包(201)可以电连接到将电池电压转换成电子电路的其余部分所需电平的终端电源电路(209)。

[0061] 可以在DSP PWB(211)上提供调节器(212)以平滑向电子电路供应的功率。DSP PWB也可以包括用于便携式无线电设备的接收器和控制电路。包括接收天线阵列的一个或者多个接收天线(204)、(205)、(206)可以提供可以从接收天线阵列或者副天线环获得的主要接收信号和采样信号(例如60Hz采样信号)这两个输出信号。这些输出信号被单独滤波并且由放大器(213)放大。对应的输出信号可以由模数转换器(ADC)(214)采样。ADC可以包括用于每个接收天线阵列的至少两个输入(例如用于3个接收天线的至少一个6通道ADC),其中一个输入用于主要接收信号,另一个输入用于采样信号。

[0062] ADC输出可以由快速微控制器单元(MCU)(215)读取,然后向DSP(216)转发。可以向DSP提供使它能够执行算法的指令,该算法可以包括调制和解调、同步、TDD成帧和语音编码。60Hz采样波形也可以被DSP用来获得也可以在VLF通信频带中出现的功率线噪声的频率的准确估计。这一估计可以用来使用梳形滤波或者平均法或者两种方法的组合来滤除60Hz噪声的谐波。DSP(216)可以生成可以向PWM发射器(210)发送的调制传输信号。反馈信号可以用来校正在使用高Q天线时产生的信号电流中的失真。接收的数据可以根据与提供的特定用户接口兼容的接口驱动器(218)被嵌入式计算机(217)格式化并且向用户接口(207)发送以供用户查看。数据发送可以在数据接收的相反流程中进行。如下文进一步讨论的那样。也可以提供导航子系统(219),用于使便携式无线电设备和表面无线电设备能够在远大于传输范围的有效范围内通信。

[0063] 可以使用环形天线以低频率传送所发送的信号。由于涉及到低频率,所以通信可以在天线的近场中进行,在天线的近场中辐射是准平稳的。沿着环形天线的轴线的磁场强度由以下公式给出:

$$[0064] \quad B_r = \frac{\mu A N I \cos(2\pi r t)}{2 \pi r^3}$$

[0065] 其中 H_r 以 A.m 为单位, 并且

[0066] A = 环面积

[0067] N = 环的数目 (匝数)

[0068] I = 电流, 具有角频率 $\omega = k\sqrt{(\mu\epsilon)}$

[0069] r = 与线圈中心的距离

[0070] 场强度与环的面积、匝数和交变电流的幅值成比例。天线偶极矩是其生成磁场的能力的方便测量结果并且由下式给出:

[0071] 偶极矩 = $A \cdot N \cdot I$

[0072] 至今用于 VLF 频率透地通信的典型天线已经通常在 10kHz 以下操作, 以便获得弱传导地层中的有用通信 ($> 100m$)。以通常约为 $4m \times 6m$ 的大天线面积、以较少匝数 (以保持环电感较小) 和 10A 量级的大循环电流实现在这样的低频率下的操作。具有 4 匝的这样的天线的偶极矩为 $1000Am^2$ 量级, 这足以以中等背景噪声水平提供透过多数类型的地层的、大于 500 英尺的范围。

[0073] 然而, 在有用的便携式应用中, 天线面积 A 限于可以在地下方便地携带的大小, 该大小将通常必须小于 $1m^2$ 。在天线环中使用多匝以与 N^2 成比例地增加其电感, 这向发射器呈现了高阻抗并且限制可以被驱动至其中的电流。图 3 示出了由放大器 (302) 驱动的具有多匝天线 (301) 的常规 VLF 发射器, 该放大器 (302) 将数字信号处理器 (303) 生成的传输波形转换成高电压输出。天线的电感被电容器 (305) 调谐至串联谐振, 因此向发射器输出呈现低阻抗并且增加输出电流和磁场强度。调谐电路的 Q 确定天线的带宽, Q 是天线电感和电路电阻 (304) 的函数。为了防止传输信号的失真, 不能使天线带宽少于可以是 1kHz 的信号带宽, 以便在全双工 TDD 信道中使用 QPSK 调制来每秒传输 1kb。信道带宽因此可以最终确定发送天线中的电感和匝数。

[0074] 与 Rhodes 等人提出的天线相反, 在便携式应用中优选最小化功率消耗, 因此在本发明中, 导体可以在螺线管或者螺旋配置中放置于天线的周边周围。另外, 在本发明中, 副环可以代之以被调谐至远在主环的频率以上的频率以便表现为更高阻抗电容元件, 从而在副环中流动的电流用于增加天线的偶极矩。加强的磁场具有与对 Rhodes 教导的耦合天线的效果相反的、略微地收窄主天线的带宽这样的效果。

[0075] 此外, 为了防止需要很高的交变电压, 本发明提供磁感应作为通信基础, 其中单个发射器可以用来驱动环形天线以创建希望的交变磁场分量。

[0076] 如先前提到的那样, 本发明的发送天线可以包括主天线和一个或者多个副环形天线。这用最小附加输入电流 (即更低功率) 提供增加的磁场。主环形天线可以由多匝形成并且在发射器的操作频率下被串联电容器谐振。这样最小化了天线阻抗从而最大化了天线的循环电流和偶极矩并且因此最大化了天线的磁场。一个或者多个副环形天线可以在比主天线更高的频率下谐振并且也可以耦合到主天线的磁场。在实践中, 可以在小于一平方米的面积内实施发送天线。

[0077] 在操作中, 来自主天线的磁场在一个或者多个副天线中感应电场, 该电场借助在主天线的谐振频率处具有以电容为主的阻抗而在副天线中产生电流, 该电流加强了磁场并

且增大了天线的偶极矩而无需来自发射器的电流成比例增加。

[0078] 图 4a 示出了根据本发明的发送天线。该发送天线可以包括如上文描述的主环形天线 (401) 和一个或者多个副环形天线 (406), 副环形天线 (406) 可以在与主天线相同的轴线上对准并且因此磁耦合到主天线以提供相互耦合电感 (409)。副环形天线可以被调谐至比主环形天线更高的串联谐振频率而损耗电阻 (407) 较小。在操作频率下, 副环的阻抗可以以电容为主, 因此主环在副环中感应的电压在加强磁场的方向上驱动电流。如果副环未被调谐或者被调谐至在主环的谐振频率以下的谐振频率, 则在副环中激发的电流将作用于取消来自主天线的磁场。表 1 举例说明了向在远程位置测量磁通量密度时电感为 $160 \mu\text{H}$ 的 10 匝调谐环形天线添加副调谐环的效果的示例。当紧密地耦合时, 副环将天线的输出增加 35%。

[0079] 表 1

相互耦合 (μH)	主环谐振 频率(Hz)	总电流 (A rms)	磁通量 密度(nT)
100	3.52	16.7	71.8
80	3.62	16.1	69.2
60	3.81	15.9	67.2
40	3.90	15.3	65.8
20	3.96	13.7	58.9
0(无副环)	3.96	12.5	52.5

[0080]

[0081] 如下文将进一步讨论的那样, 也可以在主天线的相反侧添加另一副环以形成具有适合于在背包中装配的外形规格的高输出天线。

[0082] 可以常规地通过沿着轴将主和副环缠绕为螺线管来实施上文描述的天线。每个环中的匝可以被间隔开以最小化它们之间的电感。图 4b 示出天线的一个备选实施方式, 其中在螺线中缠绕匝组 (411) 而不是缠绕为螺线管。多个这样的螺旋天线可以通过附加导线或者导体 (412) 串联连接以形成单个主环。螺线限于天线体积的外沿以便最大化它们的面积并且因此最大化天线偶极矩。多个螺线可以放置于彼此上方以增加天线的偶极矩。可以以宽间距 (413) 布置层以便最大化总电感。在这一备选天线配置中, 可以在比如果缠绕匝为螺线管而匝被间隔开时短得多的天线中提供相同匝数和电感。适合于便携式透地无线电设备的天线可以在外匝为 $0.2 \times 0.3\text{m}$ 而螺线之间的间距为 5cm 的 4 个螺线中的每个螺线中采用 5 匝, 从而达到 0.2m 的总长度。可以通过如在图中以环 (414) 的分段所示那样在每个螺线中的主天线的匝之间缠绕副环来向这一配置添加副环。副环的这一配置可以提供如在先前描述的实施方式中那样增大磁场所需的正确耦合程度。

[0083] 可以通过使用可由用户携带并且在用于提供透过实心障碍物的临时通信链路的位置设置的可携式环形天线来延伸发送天线的传输范围。图 5 示出了可与 PTER 一起操作

的可携式环形天线。可携式环形天线可以包括一个或者多个环形天线 (501), 该一个或者多个环形天线结合到坚韧的柔性材料片 (502) 以形成梯形形状并且被缠绕到圆柱体 (503) 上。片可以为以下材料, 如 Dacron™ 或者 Kevlar™ 加固的 Mylar™, 并且天线导线可以通过粘合剂结合在适当位置、穿过结合到片的套管或者夹于两个结合的材料层之间。为了简化, 在图示中仅示出一个 2 匝天线, 但是可以使用更多匝和 / 或更多天线。在部署时, 片被摊开 (504) 并且可以通过使销或者其它紧固器穿过各自位于片的拐角中的扣眼 (505) 来保持成平坦形状, 从而最大化天线环的面积。单独的环可以附接到用于发送和接收方向的片而发送天线优选地并入如更早描述的放置于主环以内并且被调谐至更高频率的副环以增加磁场的强度。调谐电容器和其它相关联的电部件可以方便地容置于管内。天线可以经由线缆 (506) 和插头 (507) 连接到位于用于无线电电路的壳体上的连接器插座。

[0084] 为了进行运输, 片可以围绕管 (508) 缠绕 (509) 以形成紧密缠绕的圆柱体。可以布置天线绕组的梯形形状, 使得导线不重叠, 因此片可以用紧凑方式围绕管缠绕。例如, 如果管直径为 8cm, 则每匝将容纳可以近似 1mm 厚的片的近似 0.25m。然后可以将 5mx2m 的片承载为 2m 长而直径为 12cm 的圆柱体。这一尺寸的片可以包含具有 4 匝和 8m² 面积的梯形发送天线以及副环。用 30A 的电流驱动时, 发送天线将具有近似 1500Am² 的偶极矩或者是先前描述的普通发送天线的偶极矩的 15 倍, 因此能够超出倍增通信范围。可选地, 也可以向片中并入接收天线和 60Hz 采样环。

[0085] 从便携式无线电设备 (或者表面无线电设备) 的发送天线向表面无线电设备 (或者便携式无线电设备) 的接收天线发送的信号可以是具有与 PTT 的所需操作 (传输) 频率相等的基频的相位和 / 或幅度调制正弦波。在 1 至 30kHz 范围中的操作频率可以对于透地通信而言最优。图 6 示出了根据本发明的通过脉宽调制对信号的传输。为了清楚起见, 已经从图中省略在本发明中设想的包括滤波器、保护器件等的部件, 因为这些部件提供的优点将为本领域技术人员所清楚。被调制用于传送所需信息 (语音和 / 或数据) 的信号可以用比操作频率更大 (或者优选地大得多) 的采样频率由 DSP (601) 生成为采样的并行数据流 (602)。信号可以例如由 MCU (603) 脉宽调制, 该 MCU 具有使它能够对信号执行脉宽调制算法的指令。可以从参考时钟 (604) 获得优选为最大操作频率的至少 10 倍的调制频率。这一脉宽调制信号然后可以由数模转换器 (DAC) (606) 转换成模拟电压 (607)。可以向驱动器放大器 (608) 输出脉宽调制信号以用于电压放大。

[0086] 四个场效应晶体管 (FET) (609) 可以布置于发送天线 (610) 周围的全桥电路中, 从而提供经由电阻器 (613) 通向电源 +ve (611) 和地 (612) 的路径。FET 可以经由电阻器 (613) 将天线的任一端连接到电源 (611) 或者接地 (612), 因此在天线中生成交变电流。驱动器放大器 (608) 可以用来生成为了与脉宽调制信号对应驱动 FET (609) 导通和截止而必需的栅极控制电压。如本领域公知的那样, 通过改变 PWM 信号的占空比, 可以控制在 FET 的输出电压而不耗散 FET 中的大量功率从而创建功率高效的放大器。天线可以被调谐至操作频率并且如上文描述的那样可以优选地包括一个或者多个副环 (未示出) 以增大磁场。

[0087] 天线中的瞬时电流并且因此传输磁场可以与驱动 FET 的 PWM 脉冲的宽度和极性成比例。然而, 如果天线宽度小于信号宽度, 则天线阻抗可以作为信号的瞬时频率的函数而改变从而造成与所需不同的电流, 因此使传输信号 (即传输磁场) 失真。图 7a 示出了使用具有低 Q 和比信号带宽大得多的天线 -3dB 带宽的天线的、传输信号星座中的失真。图 7b 示

出了使用具有高 Q 和比信号带宽更小的天线 -3dB 带宽的天线的、传输信号星座中的失真。后一个星座示出了由于天线产生的码间干扰 (ISI) 所致的 QPSK 符号位置的显著更大误差。这将减少操作信噪比并且因此减少系统的范围。因此可能希望利用高 Q 天线的更强磁场而不产生失真。在本发明中,这可以通过例如借助低值电阻器 (613) 或者变压器对流过 VLF 天线的电流采样来完成。测量的电流由 ADC(614) 数字化。然后向 MCU(603) 反馈,其中可以比较天线中的在每个采样的电流的量值与目标值并且通过调整下一 PWM 脉冲来补偿任何误差。假如 PWM 系统的更新速率足够快(例如最大发射器频率的至少 10 倍),那么可以创建实时闭环反馈系统以保证高 Q 天线中的电流遵循具有低失真的所需调制信号波形。图 7c 示出了根据本发明的使用具有高 Q 的天线的、传输信号星座中的失真。

[0088] 根据本发明的接收天线可以被最优地构造以接收传输信号。在一个示例中,接收天线可以是用于对接收磁场进行采样的三轴阵列天线。三轴天线可以包括如图 13 中所示布置于正交轴上的三个小型环形天线、加载铁氧体的环形天线或者铁氧体棒,其各自缠绕有多匝导线以形成紧凑天线。铁氧体材料可以在它的匝内部集中接收的磁通量。每个天线可以耦合到在 PTTR 的频率频带(即 2 至 10kHz) 中滤波和放大信号的接收器。噪声消除可以应用于接收天线。例如,可以采样和处理三个接收信号以便通过最优地加权及组合三个信号来最大化接收信号的信噪比。

[0089] 本发明提供在便携式无线电设备与表面无线电设备之间的双向通信。这可以通过为通信信号提供时分双工(TDD)来实现,其中在每个 TDD 帧中,便携式无线电设备被配置为在半帧发送而在备选的半帧接收,并且表面无线电设备被配置为在便携式无线电设备的相反半帧发送和接收。

[0090] 如下文进一步描述的那样,时分双工可以用来在时间上分离发射器和接收器功能。当发射器操作时,借助开关将接收器停用,该开关从天线断开接收器并且将接收器输入短路。防护时间可以用来允许发射器电流在接收器连接到它的天线之前调稳至低值。以这一方式,接收天线可以放置于 3 个正交轴上并且具有相对于发送天线的任何所需定向,并且可以获得比 Rhodes 等人描述的方法高得多的发送 / 接收隔离。

[0091] 图 8 示出了根据本发明的 TDD 帧的示例。TDD 帧可以被划分成包括发送、接收和防护时间的三段。防护时间可以用来使便携式无线电设备和表面无线电设备能够同步它们的相应发送和接收半帧,而不考虑无线电设备之间的任何传播延迟。在根据本发明的 VLF 系统中,传播延迟(考虑滤波器和通信介质)可以是若干毫秒,因此对应帧持续时间(804)可以在这一示例中被配置成近似 300ms 以保证合理的效率。

[0092] 可以指定便携式无线电设备和表面无线电设备之一作为主无线电设备,而可以指定另一无线电设备作为副无线电设备。主无线电设备可以提供主控时间参考。可以在单元之间传输两种类型的帧:同步帧和数据帧。同步帧可以包括唯一的多符号同步字,其使接收无线电设备能够例如建立符号定时、帧定时并且将它的本地时钟设置成与发射器相同的定时。数据帧可以传送数据分组或者数字编码语音帧。可以在特殊控制数据分组中封装系统信息,这些控制数据分组也可以应用循环冗余校验(CRC)以检测误差。控制数据分组也可以包含多个特殊数据字段,这些特殊数据字段包括(下面将讨论的)嵌入式计算机的航位推测位置输出和(下面也将讨论的)功率控制命令。

[0093] 使用时分双工的具体实现方式也可以实现便携式无线电设备的功率消耗降低。图

9 示出了根据本发明的使用 TDD 以降低功率消耗。在初始化时,主无线电设备可以传输低占空比的控制半帧 (901) 和在控制帧之间的空帧 (902),空帧 (902) 使发射器静音。因此,如果副无线电设备不在范围内或者被关闭,则降低主无线电设备的功率消耗。占空比可以例如是每 10 秒一次。在该占空比下,即使发射器以全电流传输,仍然可以按照近似 33 的倍率将它从电源汲取的平均功率降低至约 7W。为了进一步降低功率消耗,可以进一步降低占空比,例如降低至小于 5%。

[0094] 一旦副无线电设备能够与主无线电设备的传输同步,它可以通过向主无线电设备传输回控制半帧来做出响应 (903)。主无线电设备然后可以开始传输连续帧 (904) 直至每个无线电设备实现和验证同步 (905),这可以通过主无线电设备确认副无线电设备的频率误差在容限内来验证。来自副无线电设备的响应无需在相同帧中,但是如果需要则每个响应可以被延迟预定数目的帧。一旦验证同步,则每个无线电设备可以测量它的接收信号的质量并且可以确定另一无线电设备是否应当降低(或者增加)它的传输功率。在从确认同步的副无线电设备接收半帧 (905) 之后,主无线电设备可以开始传输正常数据帧并且可以向传输中插入单个空帧 (906),其中它的发射器被静音并且汲取最小的电流或者不汲取电流。可以在所有半帧期间保持每个接收器活跃。过程可以继续 (907)、(908),从而在数据帧传输之间的时间逐渐增加,而又借助在控制数据分组中提供的反馈可以逐渐最小化在链路的每端的传输电流,从而降低失去同步的可能性。可以继续插入空帧直至占空比被降低至低值,比如每 10 秒一次传输。如果发射器以降低的输出功率运行,则发射器功率消耗将甚至比在初始化时更低。

[0095] 如果在这一过程中的任何时间,主无线电设备不从副无线电设备接收数据帧 (909),则主无线电设备可以重新开始传输连续同步帧 (910),从而与每个帧一起增加其输出功率以最小化失去同步的时间。一旦主无线电设备从副无线电设备接收半帧 (911),则功率控制过程可以再次开始而主无线电设备发送连续传输直至副无线电设备已经重建链路或者超时区间出现并且主无线电设备回到初始化状态。

[0096] 如果在任何时间需要传输语音和 / 或数据,则可以在空帧中发送附加数据帧。如果在系统的使用时间的 5% 发送数据,则平均发射器功耗可以在这一示例中增加至近似 18W。在这一示例中,如果接收器消耗 5W 的功率,则每个无线电设备的总功耗近似为 23W 或者为来自 24V 电池的近似 1A。在这些条件下,无线电设备可以使用具有 8Ahr 容量的电池工作 8 小时,从而提供实现便携性的外形规格和重量。

[0097] 减少用于数据传输的时间的又一种手段是利用一个或者多个预先配置的和编索引的语音和 / 或文本消息对每个无线电设备编程,该语音和 / 或文本消息是通过短码来编索引的。可以例如通过滚动遍历消息的列表并且选择希望传输的消息来使用用于无线电设备的用户接口。在这一情况下,可以在控制数据分组而不是全消息内发送短的编索引码。当在接收器处接收时,可以检查码索引并且可以向用户显示预期的消息。

[0098] 如这里在具体示例中描述的 PTTTER 可以提供在距离近似为 100m(下文称为“固定范围”)的表面无线电设备与便携式无线电设备之间的双向语音和 / 或数据通信。应当理解,可以通过适当配置传输频率、电源和 / 或天线来提供不同距离。可以提供导航子系统用于使便携式无线电设备和表面无线电设备能够在远大于固定传输范围的有效范围内通信。

[0099] 参照图 2,用于接收数据的嵌入式计算机 (217) 也可以用来基于导航子系统 (219)

获得的距离和方向数据确定便携式无线电设备和表面无线电设备的相对位置。导航子系统可以包括或者链接到用于检测距离和方向的装置。例如，导航子系统可以包括里程计和电子通量门罗盘。备选地，可以根据罗盘和 3 轴 MEMS 加速度计或者小型陀螺仪的输出计算移动矢量。

[0100] 导航子系统可以向嵌入式计算机提供关于便携式无线电设备自从它上次更新起已经移动的距离和方向的定期更新。嵌入式计算机可以使用这一信息从两个单元已知的参考点（比如隧道入口点或者通风井）定期地更新航位推测位置。可以在控制数据分组中向表面无线电设备传输这一信息，其中可以比较它与表面无线电设备自身的距离和方向计算结果，以估计两个无线电设备之间的距离和方向。类似地，表面无线电设备可以向便携式无线电设备传输它的距离和方向从而使便携式无线电设备能够估计两个无线电设备之间的距离和方向。可以用从另一无线电设备接收的信号电平的形式提供更多信息。

[0101] 每个无线电设备的用户接口可以被配置为显示距离和方向，以使每个无线电设备的用户能够跟踪另一用户的移动并且调整移动以保证两个无线电设备保持于通信范围内。

[0102] 图 10 示出了导航子系统的使用示例。地下隧道 (1006) 在道路网络 (1005) 下方伸展。每个无线电设备的起始位置是隧道的检修孔入口 (1007)。当两个无线电设备在检修孔入口（便携式无线电设备在地下隧道中而表面无线电设备在道路上）时，每个无线电设备的航位推测位置可以被重置成始发点 (1001a)、(1001b)。便携式无线电设备用户可以沿着隧道移动，并且表面无线电设备用户可以在相同大体方向上沿着便道移动。在后续位置 (1002a)、(1002b) 和 (1003a)、(1003b)，便携式无线电设备和表面无线电设备可以交换它们的估计位置并且可选地交换接收信号电平，并且各自可以估计到另一无线电设备的距离和方向。另一无线电设备的估计距离和方向与接收无线电设备的接收信号电平和当前前进方向一起可以显示于无线电设备的用户接口上。例如，在位置 1001a、1002a、1003a 和 1004a，表面无线电设备的用户接口可以显示表 2 中所示的信息。

[0103] 表 2

[0104]

位置	1001a	1002a	1003a	1004a
当前前进方向	N	E	E	S
同伴方向	0	SW	SW	W
同伴距离	0	50ft	150ft	40ft
信号电平 (1 到 10)	8	6	3	7

[0105] 在这一示例中，在位置 1003a，用户接口指示两个无线电设备的路径相比于位置 1002a 在发散，因为单元之间的距离已经增加并且接收信号电平已经下降。表面无线电设备用户可以通过在便携式无线电设备的方向上前进，例如通过沿着道路 S 移向位置 1004a 来校正这一点。

[0106] 也可以将本发明的 PTTTER 的便携式无线电设备调整为用于供用户佩戴的背包。应当理解，可以使背包适于能够被携带、滚动或者由个人移动的另一个壳体（比如推车）。例

如,在调整为背包的 PTTTER 的一个实现方式中,可以在背包内提供便携式无线电设备的无线电电路和电源,而便携式无线电设备的天线可以设置于其上或者从其延伸。

[0107] 图 11 示出了根据本发明的背包的示例。背包可以包括用于支撑便携式无线电设备的电部件的框架 (1101)。背包也可以包括用于让用户能够在用户的背部和肩部上佩戴背包的一个或者多个背带。发送天线 (1102) 可以包括被磁耦合以形成紧凑而功率大的发送天线的至少两个导线线圈 (1103)、(1104)。天线可以被定向成环的轴线竖直,因此无论用户面向的方向如何远场都是恒定的。这一布置使便携式无线电设备无论天线的小外形规格都能够在显著范围内通信。可以在主天线的相反侧上添加另一副环以形成具有适合于在背包中装配的高输出天线。

[0108] PTTTER 的这一实现方式与 Rhodes 等人提供的 PTTTER 不同之处在于将发送天线放置于用户的背部上佩戴的保护壳体 (背包) 中,使得磁场的主轴平行于用户身体,从而允许用户自由移动并且减少用户向传输磁场的暴露。

[0109] 便携式无线电设备可以由可以位于发送天线下方的轻质电池 (1105) 供电。实施发射器和接收器所需的无线电电路 (1106) 可以容置于屏蔽罩中。便携式无线电设备可以包括在背包的 X、Y 和 Z 轴上正交定向的三个不同的接收天线 (1107)、1108、(1109)。如图所示,这些天线也可以是小型环形天线或者加载铁氧体的环形天线。传输和接收天线可以由它们的相应连接器 (1110) 连接到无线电电路。可以在接收器中处理和组合天线信号以保证接收信号强度独立于背包的定向而保持恒定。无线电电路罩 (1106) 也可以包括用于跟踪便携式无线电设备的运动的惯性导航系统。便携式无线电设备可以被可以由轻质、防水、非金属材料 (例如环氧玻璃叠层) 构造的整体盖 (1111) 保护。在固定、可携式或者半持久安装中,单独可部署天线可以经由连接器 (1110) 连接到背包以延伸操作范围。

[0110] 便携式无线设备可以包括在背包的 X、Y 和 Z 轴上正交定向的三个不同的接收天线 (1107)、(1108)、(1109)。如图 13 中所示,这些天线也可以是小型环形天线或者加载铁氧体的环形天线,其中每个铁氧体棒 (1301) 可以缠绕有多匝导线 (1302) 以形成紧凑天线,铁氧体材料作用于在所述天线的匝内集中接收的磁通量。

[0111] 上文描述的技术增加了天线峰值偶极矩,从而实现了使用一种具有适合于在背包中装配的小比例的天线。例如,具有 0.1m^2 的面积、20 匝和两个副环的天线将在以 30A 峰值的电流驱动主环时提供 90Am^2 的偶极矩,这足以提供透过许多类型的地层的、用于语音和数据的有用通信范围。如果总电路损耗近似为 0.5 欧姆,则天线和发射器在发送连续数据帧时吸收的功率将近似为 225W。

[0112] 在操作中,便携式无线电设备用户或者表面无线电设备用户可以例如通过激活无线电设备的麦克风来发起通信。人员向麦克风说话,并且音频信息可以如先前描述的那样被无线电设备格式化和脉宽调制。处理器可以将经格式化和调制的音频排队以用于传输并且可以在时分双工载体信号被设置用于从特定无线电设备输出的时段期间从发送天线传输经格式化的音频。输出信号可以透地传播直至它到达另一无线电设备的接收天线。接收信号可以被接收无线电设备处理,例如去除失真并且解调。然后向耦合到无线电设备的扬声器输出音频信息。相似过程可以用于数据传输。

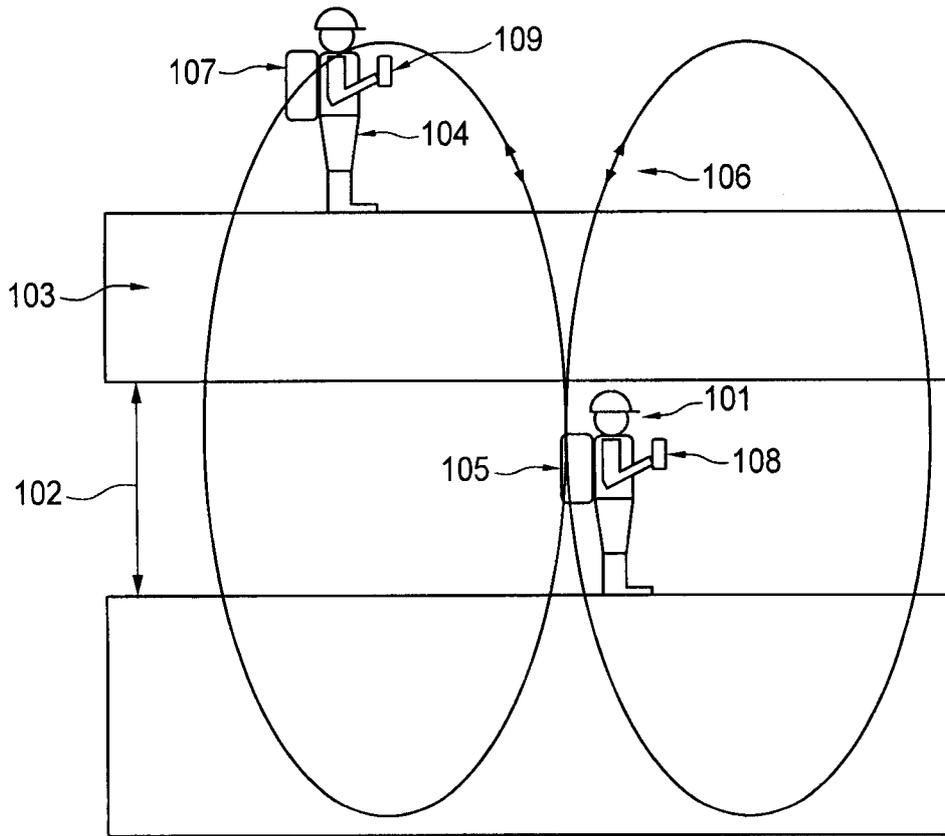


图 1

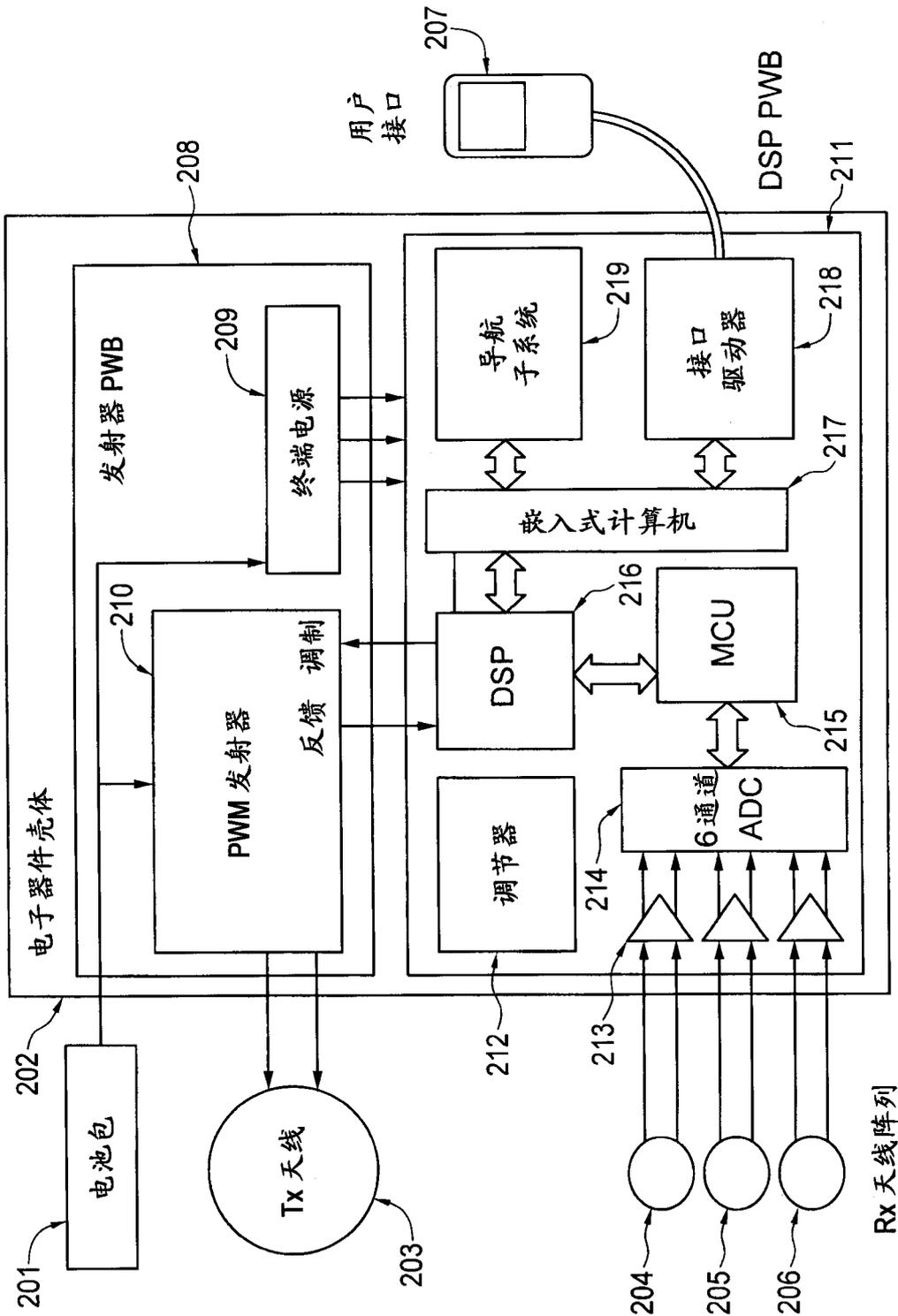


图 2

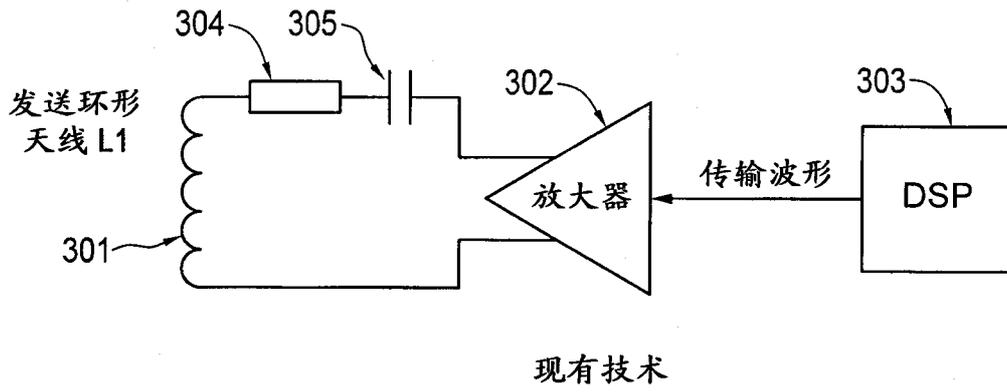


图 3

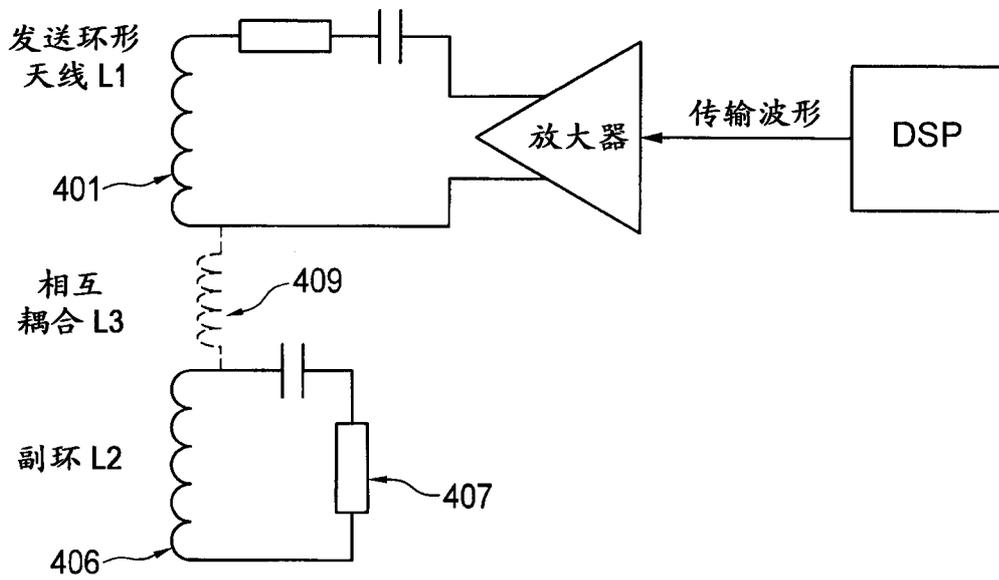


图 4a

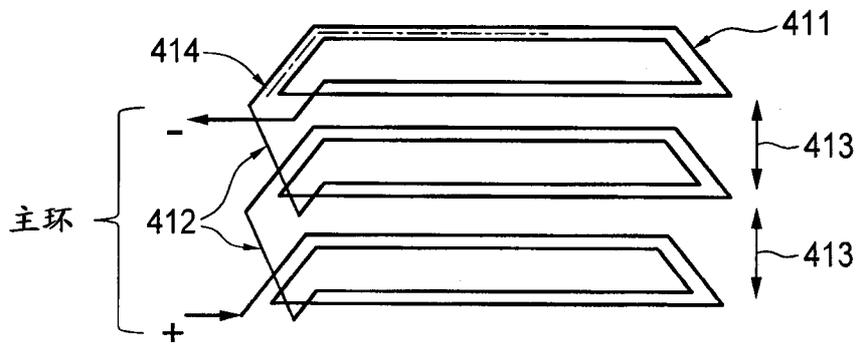


图 4b

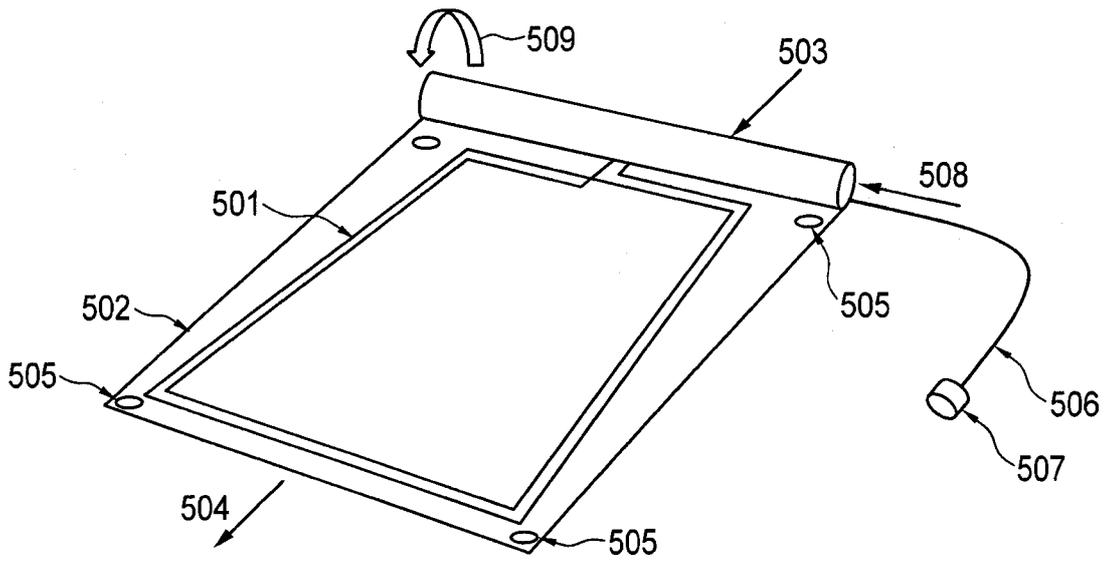


图 5

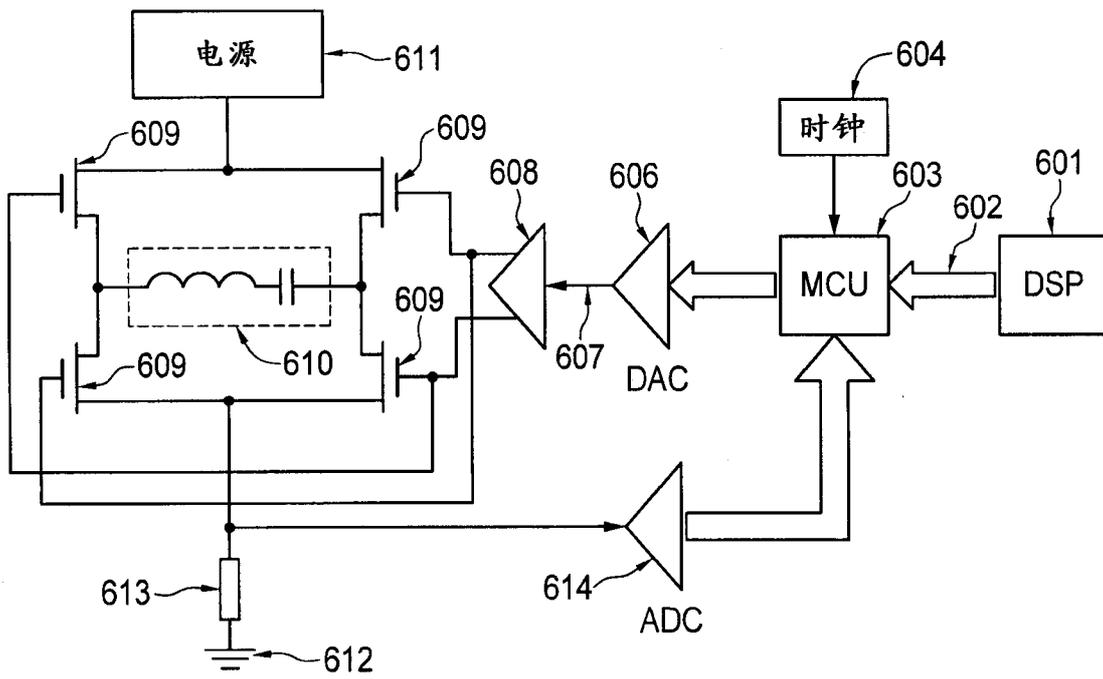


图 6

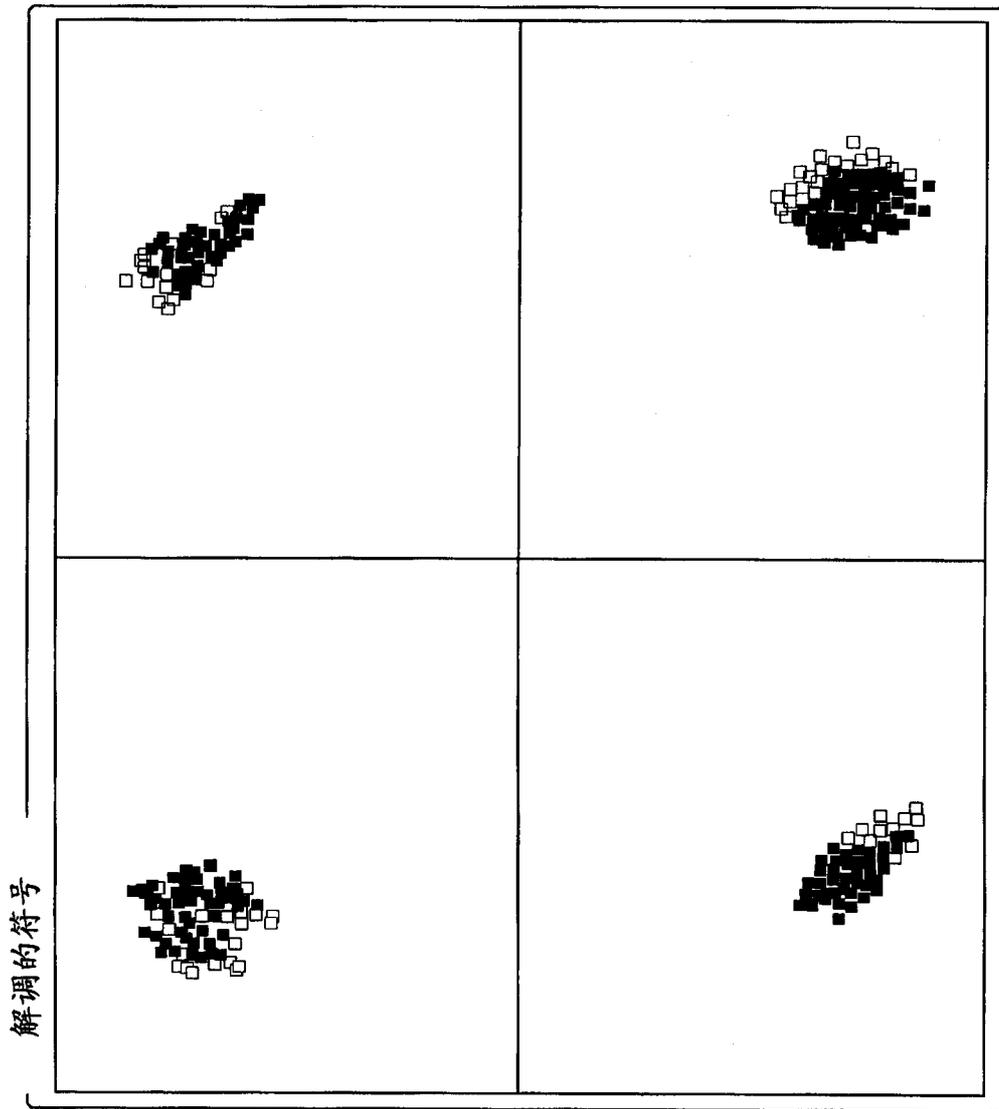


图 7a

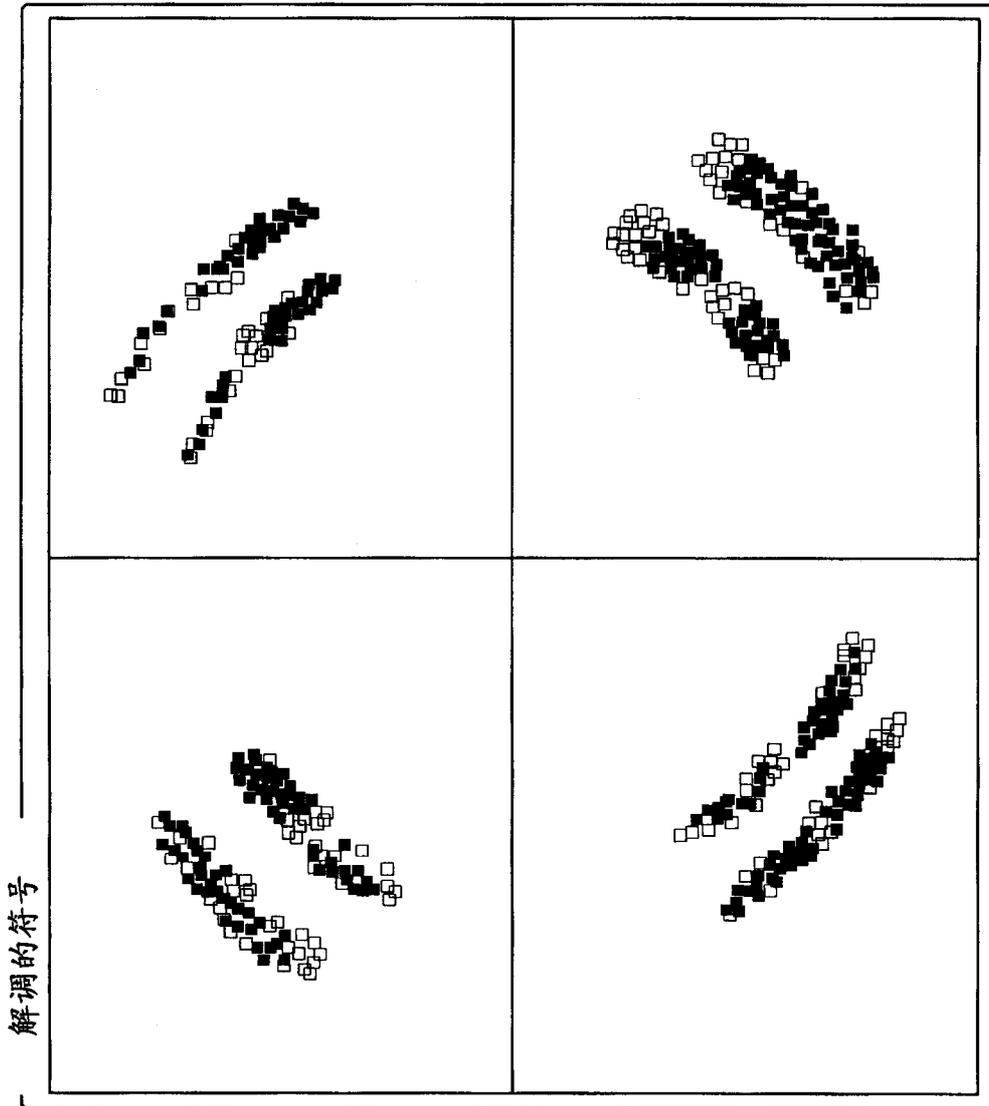


图 7b

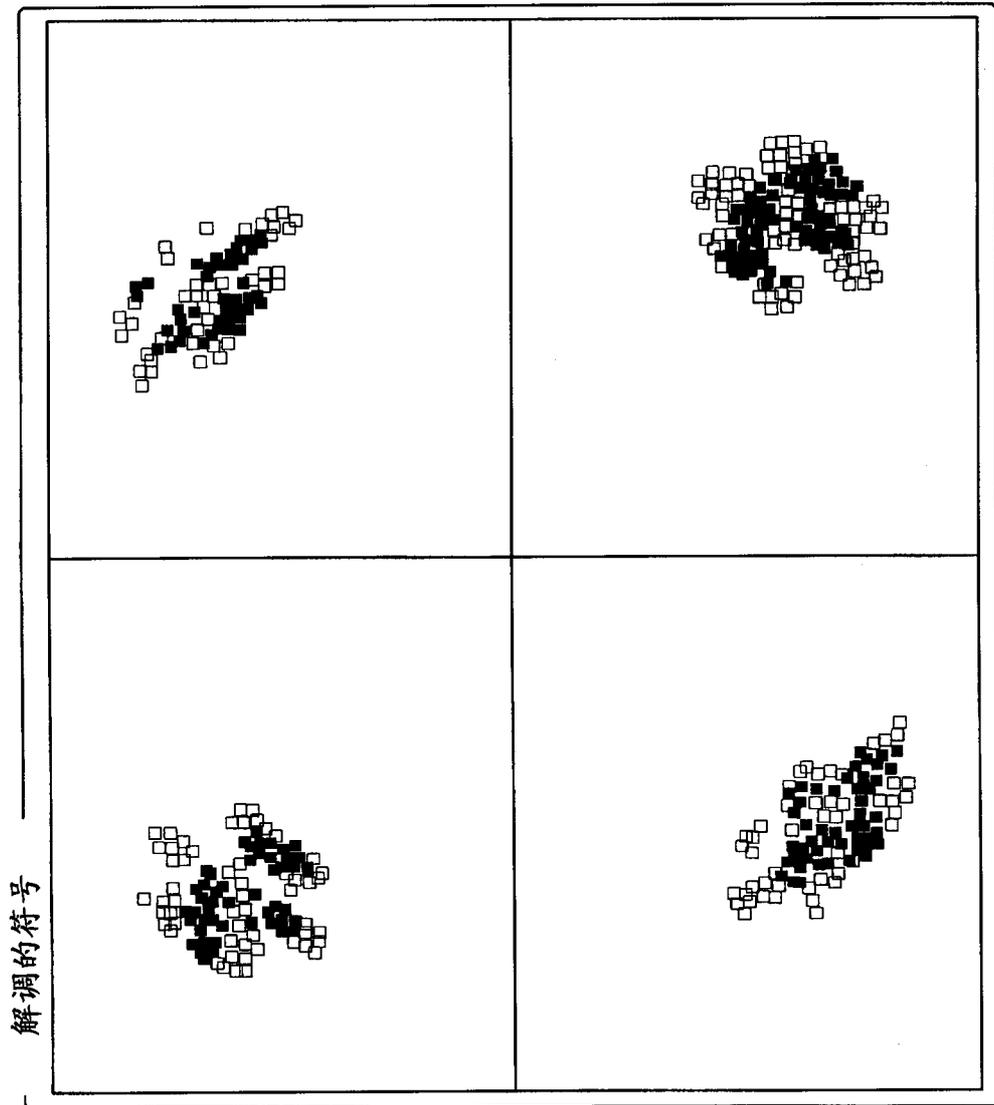


图 7c

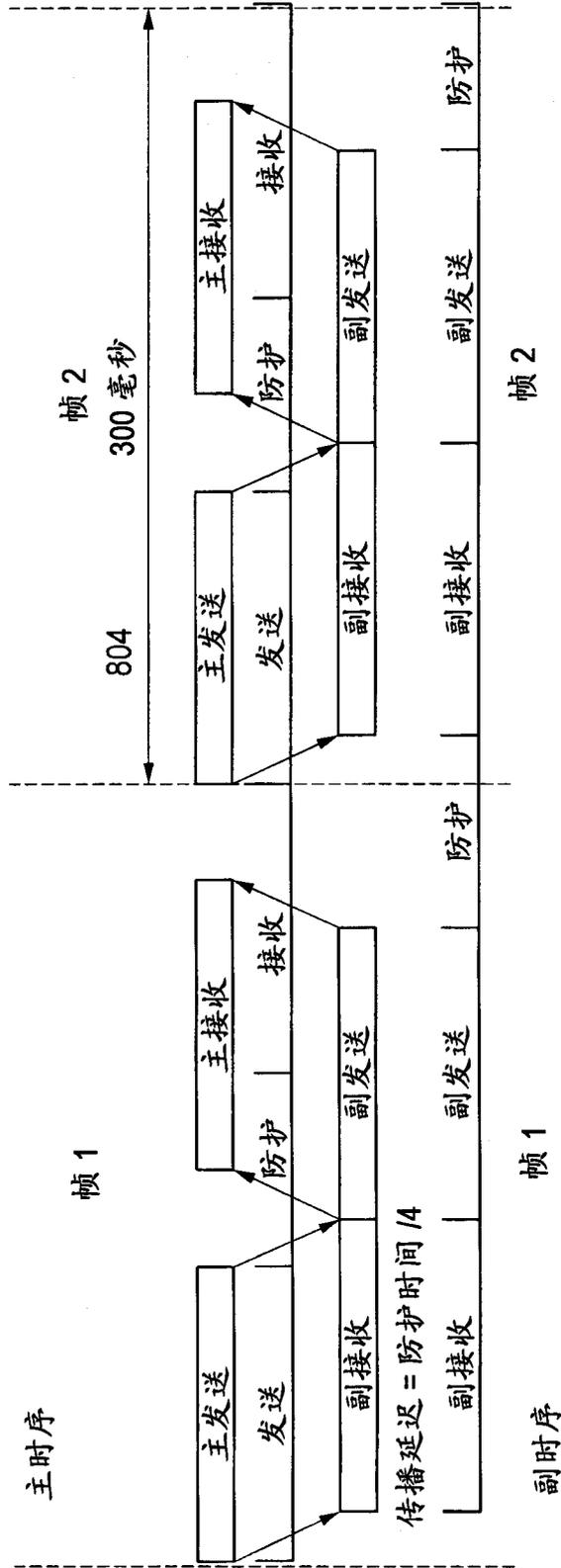


图 8

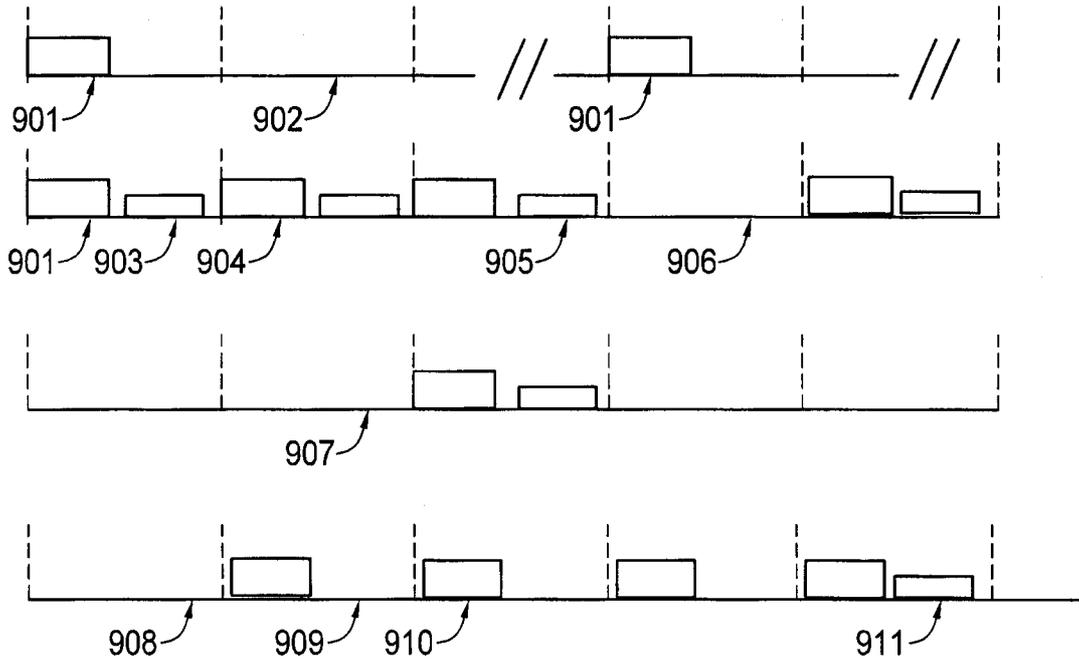


图 9

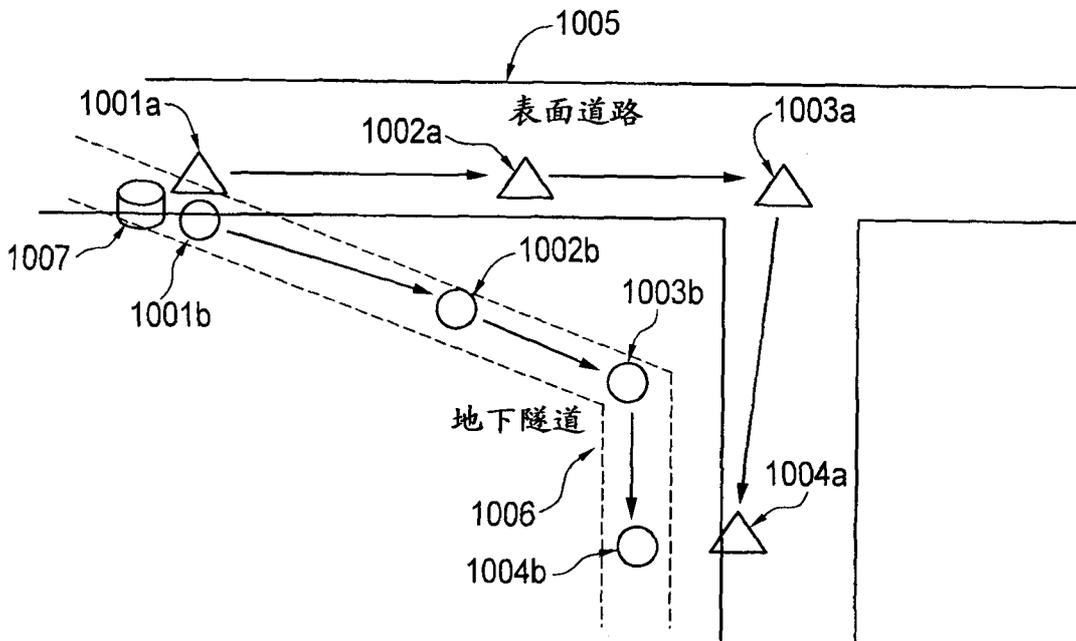


图 10

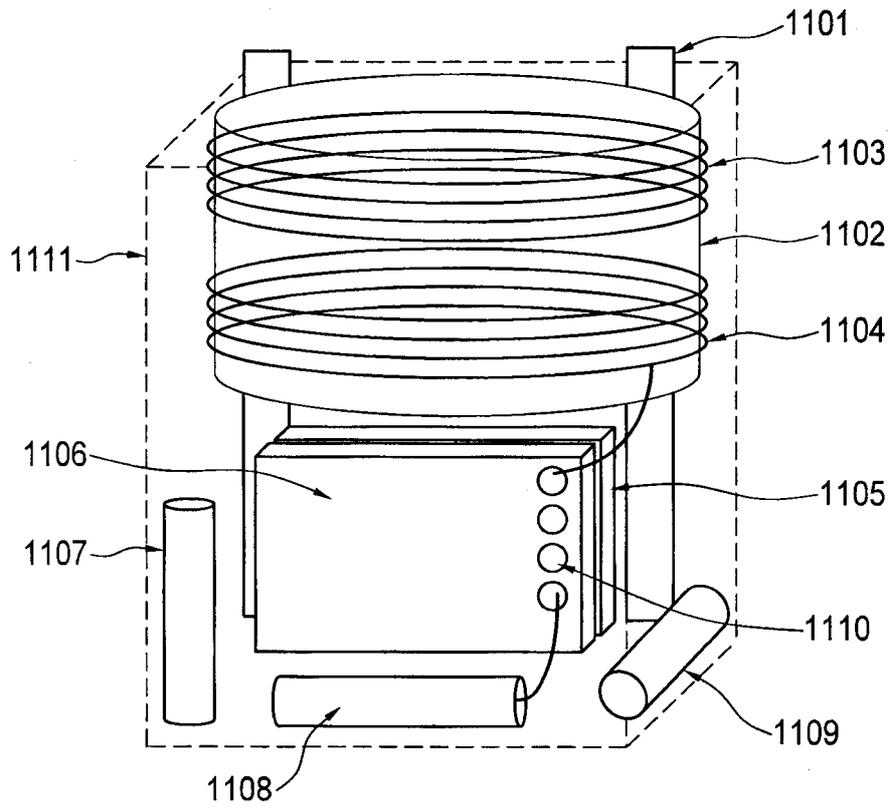


图 11

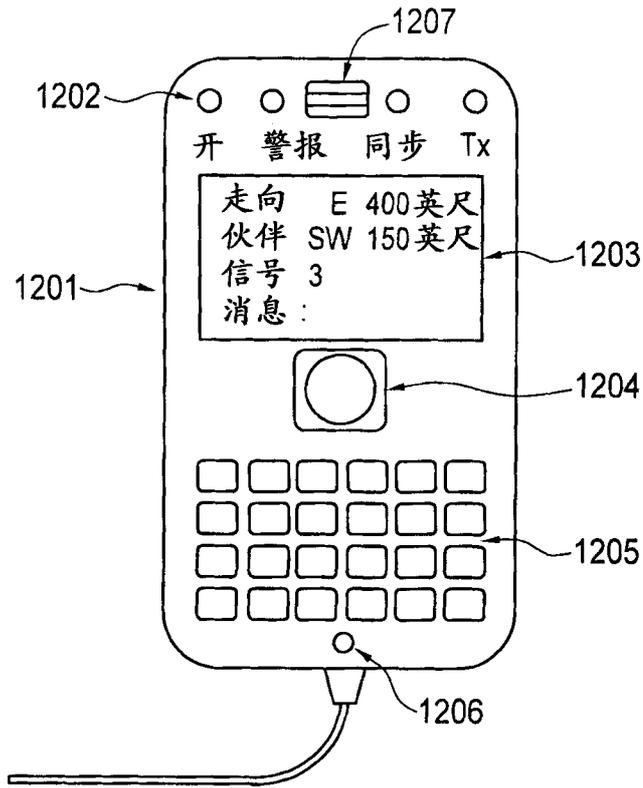


图 12

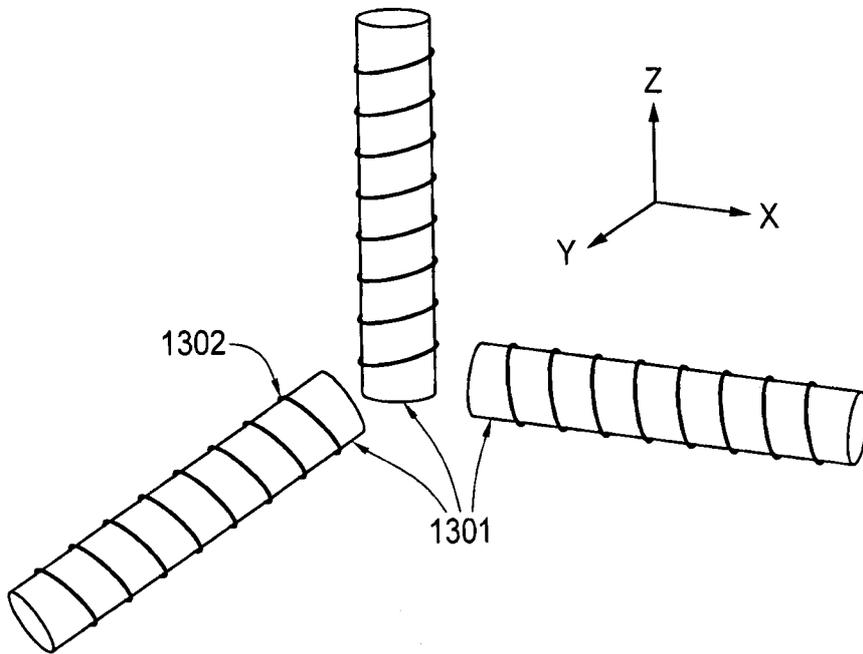


图 13