



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120017174 A

(43) 申请公布日 2025. 05. 16

(21) 申请号 202510054665.9

(22) 申请日 2025.01.14

(71) 申请人 山西大学

地址 030006 山西省太原市坞城路92号

(72) 发明人 王彦华 许航 杨涛 王军民

(74) 专利代理机构 太原晋科知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 14110

专利代理师 赵江艳

(51) Int. Cl.

H04B 13/02 (2006.01)

H04B 7/155 (2006.01)

H04W 4/90 (2018.01)

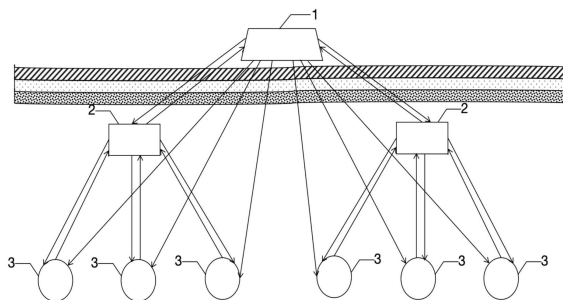
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于量子精密测量的透地移动通信方法和系统

(57) 摘要

本发明涉及量子精密测量和通信技术领域，公开了一种基于量子精密测量的透地移动通信方法和系统，包括地面台、多个地下中继站和多个地下移动台；地面台包括第一透地通信模块、地面控制单元；地下中继站包括第二透地通信模块、第一地下控制单元和第一无线收发模块；地下移动台包括第三透地通信模块、第二地下控制单元和第二无线收发模块；地面台和地下中继站间为长程透地通信链路；地下中继站和地下移动台间为两种链路，包括常规无线移动通信链路和短程跨介质透地移动通信链路；此外地面台和地下移动台间建立长程透地应急链路。本发明可以在同等功率下可显著增加透地通信的距离，并提高地下或密闭空间中通信的移动适应性和可靠性。



1. 一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,包括地面台(1)、多个地下中继站(2)和多个地下移动台(3);

所述地面台(1)设置于地面,包括第一透地通信模块、地面控制单元;所述地下中继站(2)设置在地下,包括第二透地通信模块、第一地下控制单元和第一无线收发模块(14);所述地下移动台(3)设置于地下,包括第三透地通信模块、第二地下控制单元和第二无线收发模块;

所述地面台(1)通过第一透地通信模块与地下中继站(2)和地下移动台(3)通信连接;所述地下中继站(2)通过第二透地通信模块和地面台(1)通信连接,同时通过第二透地通信模块与所述地下移动台(3)通信连接;所述地下移动台(3)通过第三透地通信模块和地面台(1)以及地下中继站(2)通信连接,构成了透地通信链路;

所述第一透地通信模块包括第一原子磁力仪接收模块(4)和地上磁场发射模块(8),所述第一原子磁力仪接收模块(4)用于接收第二透地通信模块发射端发送的低频磁场长程透地通信信号后传输给所述地面控制单元,所述地上磁场发射模块(8)用于将地面控制单元处理的通信信号通过低频磁场载波发射出去;

所述第二透地通信模块和第三透地通信模块均包括第二原子磁力仪接收模块(9)和地下磁场发射模块(13);

所述第二透地通信模块中,第二原子磁力仪接收模块(9)用于接收第一透地通信模块发送的低频磁场长程透地通信信号,还用于接收第三透地通信模块发送的低频磁场短程透地通信信号,地下磁场发射模块(13)用于将第一地下控制单元处理的通信信号通过低频磁场载波发射出去;

所述第三透地通信模块中,第二原子磁力仪接收模块(9)用于接收第一透地通信模块发射端发送的低频磁场长程透地通信信号或第二透地通信模块发射端发送的低频磁场短程透地通信信号,所述地下磁场发射模块(13)用于将第二地下控制单元处理的通信信号通过低频磁场载波发射出去;

所述第一无线收发模块(14)和第二无线收发模块用于构建地下中继站(2)和地下移动台(3)间常规无线移动通信链路。

2. 根据权利要求1所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,所述第一原子磁力仪接收模块(4)和第二原子磁力仪接收模块(9)为三轴原子磁力仪或双轴原子磁力仪。

3. 根据权利要求1所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,所述第一透地通信模块,第二透地通信模块和第三透地通信模块中,原子磁力仪利用多轴同步探测,实现正交极化信号差分和冗余探测模式。

4. 根据权利要求1所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,所述第一无线收发模块(14)和第二无线收发模块分别包括4G通信模块、5G通信模块、WIFI通信模块、蓝牙通信模块或ZigBee通信模块中的一种或多种。

5. 根据权利要求1所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,所述第一透地通信模块还包括第一基带信号处理器(5)和地面功率放大器(7);所述第一基带信号处理器(5)与所述地面控制单元(6)、第一原子磁力仪接收模块(4)和地面功率放大器(7)连接,地面功率放大器(7)与地上磁场发射模块(8)连接;地面控制单元(6)处理的通信

信号经第一基带信号处理器(5)调制后,再经地面功率放大器(7)放大后被所述地上磁场发射模块(8)发送,第一原子磁力仪接收模块(4)接收的信号经第一基带信号处理器(5)解调后发送给所述地面控制单元(6)。

6.根据权利要求1所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,所述第二透地通信模块还包括地下基带信号处理器(10)和地下功率放大器(12),所述第二透地通信模块中,述地下基带信号处理器(10)与所述地下控制单元(11)、第二原子磁力仪接收模块(9)和地下功率放大器(12)连接,地下功率放大器(12)与地下磁场发射模块(13)连接;地下控制单元(11)的输出信号经地下基带信号处理器(10)调制后,再经地下功率放大器(12)放大后被所述地下磁场发射模块(13)发送,第二原子磁力仪接收模块(9)接收的信号经地下基带信号处理器(10)解调后发送给所述地下控制单元(11),所述第一无线收发模块(14)通过所述地下基带信号处理器(10)分别与所述第一地下控制单元(11)连接。

7.根据权利要求1所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,作为地下终端的所述地下中继站(2)和地下移动台(3)还包括备用电池。

8.根据权利要求1所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,其特征在于,所述地上磁场发射模块(8)和地下磁场发射模块(13)为磁场发生线圈或者磁场发生电极。

9.一种基于量子精密测量的透地移动通信方法,其特征在于,基于权利要求1所述的一种透地移动通信系统实现,包括以下步骤:常规通信模式下,地面台(1)和地下中继站(2)之间实现长程透地双工通信,地面台(1)通过将信号发送到地下中继站(2),地下中继站(2)接收到信号并转发到地下移动台(3),地下移动台(3)发送信号到地下中继站(2),地下中继站(2)将信号通过长程透地链路转发到地面台(1);具体地,上行链路为:一方面地下移动台(3)可以通过第二无线收发模块发送信号,地下中继站(2)通过第一无线收发模块(14)接收信号,构成地下常规无线移动通信上行链路;另一方面地下移动台(3)可以通过第三透地通信模块发送短程透地信号,地下中继站(2)通过第二地下透地模块接受信号,构成地下短程跨介质透地移动通信上行链路;随后通过地下中继站(2)的第二透地通信模块将信号转发,地面台(1)通过第一透地通信模块接收信号;下行链路为:地面台(1)通过第一透地通信模块将信号下发到长程透地链路,地下中继站(2)通过第二透地通信模块接收到信号并通过第一无线收发模块(14)转发到常规无线移动通信下行链路,或通过第二透地通信模块转发到短程跨介质透地移动通信下行链路,地下移动台(3)通过第二无线收发模块从常规无线移动通信下行链路接收信号,或通过第三透地通信模块从短程跨介质透地移动通信下行链路接收信号;

应急通信模式下,地面台(1)通过第一透地通信模块经长程透地通信下行链路向地下移动台(3)直接发送应急信息和救援指令,地下移动台(3)通过第三透地通信模块从长程透地通信下行链路接收信号,完成应急信息的广播发布与接收。

10.根据权利要求9所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信方法,其特征在于,地下移动通信链路有两类,分别为短程跨介质透地移动通信链路和常规无线移动通信链路;地下移动台(3)通过第三透地通信模块向短程跨介质透地移动通信链路发送信号,地下中继站(2)通过第二透地通信模块从短程跨介质透地移动通信链路接收信号,地下中继站(2)通过第二透地通信模块向短程跨介质透地移动通信链路发送信号,地下移动台(3)通过第三透地通信模块从短程跨介质透地移动通信链路接收信号,实现地下短程跨介质透地双

工移动通信;地下移动台(3)通过第二无线收发模块向常规无线移动通信链路发送信号,地下中继站(2)通过第一无线收发模块(14)从常规无线移动通信链路接收信号,地下中继站(2)通过第一无线收发模块(14)向常规无线移动通信链路发送信号,地下移动台(3)通过第二无线收发模块从常规无线移动通信链路接收信号,实现地下常规无线双工移动通信。

一种基于量子精密测量的透地移动通信方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及量子精密测量和通信技术领域,具体涉及一种基于量子精密测量的透地移动通信方法和系统,其通过微弱磁场探测进行透地移动通信,并可用于完成跨介质及密闭空间应急通信。

背景技术

[0002] 传统的无线通信和移动通信利用电磁波信号在自由空间中传播的特性进行信息交换,主要以低损耗的空气为传播媒质,当前的技术路线中通过采用更高频率的载波,扩展信道频宽,提高信息传输带宽,提升信息传输质量。但是这样的技术方案面临的挑战一直存在。随着载波工作频率的提高,多径效应和路径传输损耗等因素的影响更加明显,成为制约高频段无线通信提高传输距离改善传输质量的主要因素。

[0003] 透地通信是以大地为主要传播介质,其中的岩层、土壤和水等介质会对通常的无线通信电磁波造成严重的信号衰减,导致严重的传输损耗。地下空间的岩石、土壤和水等不同成分的无序空间分布和密度分布,导致传统通信用电磁波透地传播时经历更多的反射、透射和衍射,无线透地通信信道的多径效应比空气介质更加复杂。针对透地通信的应用场景,面向提升传输距离这一最主要需求,需要特别选用低频段的长波长磁场载波,减小传输损耗,消除多径效应。

[0004] 当前的透地通信方案,利用磁场线圈或电极间的电磁感应进行低频磁场信号传输,在有限的功耗下,对发射端和接收端的几何对准关系要求较高,限制了透地通信系统的环境适应性和面向移动通信和移动终端的灵活性。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服当前透地移动通信技术中存在的移动适应性差、传输距离有限、灵敏度低、设备功耗高等问题,提供了一种基于量子精密测量的透地移动通信方法和系统,基于原子磁力仪构建通信信号接收端进行透地移动通信,以适应介质复杂、空间狭窄的环境适应性需求,保障可靠的地下移动通信和应急通信。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,包括地面台、多个地下中继站和多个地下移动台;

[0007] 所述地面台设置于地面,包括第一透地通信模块、地面控制单元;所述地下中继站设置在地下,包括第二透地通信模块、第一地下控制单元和第一无线收发模块;所述地下移动台设置于地下,包括第三透地通信模块、第二地下控制单元和第二无线收发模块;

[0008] 所述地面台通过第一透地通信模块与地下中继站和地下移动台通信连接;所述地下中继站通过第二透地通信模块和地面台通信连接,同时通过第二透地通信模块与所述地下移动台通信连接;所述地下移动台通过第三透地通信模块和地面台以及地下中继站通信连接,构成了透地通信链路;

[0009] 所述第一透地通信模块包括第一原子磁力仪接收模块和地上磁场发射模块,所述

第一原子磁力仪接收模块用于接收第二透地通信模块发射端发送的低频磁场长程透地通信信号后传输给所述地面控制单元,所述地上磁场发射模块用于将地面控制单元处理的通信信号通过低频磁场载波发射出去;

[0010] 所述第二透地通信模块和第三透地通信模块均包括第二原子磁力仪接收模块和地下磁场发射模块;

[0011] 所述第二透地通信模块中,第二原子磁力仪接收模块用于接收第一透地通信模块发送的低频磁场长程透地通信信号,还用于接收第三透地通信模块发送的低频磁场短程透地通信信号,地下磁场发射模块用于将第一地下控制单元处理的通信信号通过低频磁场载波发射出去;

[0012] 所述第三透地通信模块中,第二原子磁力仪接收模块用于接收第一透地通信模块发射端发送的低频磁场长程透地通信信号或第二透地通信模块发射端发送的低频磁场短程透地通信信号,所述地下磁场发射模块用于将第二地下控制单元处理的通信信号通过低频磁场载波发射出去;

[0013] 所述第一无线收发模块和第二无线收发模块用于构建地下中继站和地下移动台间常规无线移动通信链路。

[0014] 所述第一原子磁力仪接收模块和第二原子磁力仪接收模块为三轴原子磁力仪或双轴原子磁力仪。

[0015] 所述第一透地通信模块,第二透地通信模块和第三透地通信模块中,原子磁力仪利用多轴同步探测,实现正交极化信号差分 and 冗余探测模式。

[0016] 所述第一无线收发模块和第二无线收发模块分别包括G通信模块、G通信模块、WIFI通信模块、蓝牙通信模块或ZigBee通信模块中的一种或多种。

[0017] 所述第一透地通信模块还包括第一基带信号处理器和地面功率放大器;所述第一基带信号处理器与所述地面控制单元、第一原子磁力仪接收模块和地面功率放大器连接,地面功率放大器与地上磁场发射模块连接;地面控制单元处理的通信信号经第一基带信号处理器调制后,再经地面功率放大器放大后被所述地上磁场发射模块发送,第一原子磁力仪接收模块接收的信号经第一基带信号处理器解调后发送给所述地面控制单元。

[0018] 所述第二透地通信模块还包括地下基带信号处理器和地下功率放大器,所述第二透地通信模块中,述地下基带信号处理器与所述地下控制单元、第二原子磁力仪接收模块和地下功率放大器连接,地下功率放大器与地下磁场发射模块连接;地下控制单元的输出信号经地下基带信号处理器调制后,再经地下功率放大器放大后被所述地下磁场发射模块发送,第二原子磁力仪接收模块接收的信号经地下基带信号处理器解调后发送给所述地下控制单元,所述第一无线收发模块通过所述地下基带信号处理器分别与所述第一地下控制单元连接。

[0019] 作为地下终端的所述地下中继站和地下移动台还包括备用电池。

[0020] 所述地上磁场发射模块和地下磁场发射模块为磁场发生线圈或者磁场发生电极。

[0021] 此外,本发明还提供了一种基于量子精密测量的透地移动通信方法,基于所述的一种系统实现,包括以下步骤:常规通信模式下,地面台和地下中继站之间实现长程透地双工通信,地面台通过将信号发送到地下中继站,地下中继站接收到信号并转发到地下移动台,地下移动台发送信号到地下中继站,地下中继站将信号通过长程透地链路转发到地面

台;具体地,上行链路为:一方面地下移动台可以通过第二无线收发模块发送信号,地下中继站通过第一无线收发模块接收信号,构成地下常规无线移动通信上行链路;另一方面地下移动台可以通过第三透地通信模块发送短程透地信号,地下中继站通过第二地下透地模块接受信号,构成地下短程跨介质透地移动通信上行链路;随后通过地下中继站的第二透地通信模块将信号转发,地面台通过第一透地通信模块接收信号;下行链路为:地面台通过第一透地通信模块将信号下发到长程透地链路,地下中继站通过第二透地通信模块接收到信号并通过第一无线收发模块转发到常规无线移动通信下行链路,或通过第二透地通信模块转发到短程跨介质透地移动通信下行链路,地下移动台通过第二无线收发模块从常规无线移动通信下行链路接收信号,或通过第三透地通信模块从短程跨介质透地移动通信下行链路接收信号;

[0022] 应急通信模式下,地面台通过第一透地通信模块经长程透地通信下行链路向地下移动台直接发送应急信息和救援指令,地下移动台通过第三透地通信模块从长程透地通信下行链路接收信号,完成应急信息的广播发布与接收。

[0023] 地下移动通信链路有两类,分别为短程跨介质透地移动通信链路和常规无线移动通信链路;地下移动台通过第三透地通信模块向短程跨介质透地移动通信链路发送信号,地下中继站通过第二透地通信模块从短程跨介质透地移动通信链路接收信号,地下中继站通过第二透地通信模块向短程跨介质透地移动通信链路发送信号,地下移动台通过第三透地通信模块从短程跨介质透地移动通信链路接收信号,实现地下短程跨介质透地双工移动通信;地下移动台通过第二无线收发模块向常规无线移动通信链路发送信号,地下中继站通过第一无线收发模块从常规无线移动通信链路接收信号,地下中继站通过第一无线收发模块向常规无线移动通信链路发送信号,地下移动台通过第二无线收发模块从常规无线移动通信链路接收信号,实现地下常规无线双工移动通信。

[0024] 本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

[0025] 1. 本发明中,透地通信模块选用三轴或双轴的原子磁力仪作为接收端,其测量带宽在kHz到MHz范围,同低频磁感应通信的需求相契合,对于带宽范围内的低频磁场通信信号测量,具有超高的灵敏度,可达到 $fT/\sqrt{Hz}$,在同等发射功率下可以将透地移动通信的距离增加到现有传统方案的5-10倍;

[0026] 2. 本发明可实现对模拟或数字调制的透地通信信号的高灵敏接收,并通过两个正交极化信号通道实现差分和冗余探测模式,改善了微弱信号解调和处理过程中信噪比,提高了系统的抗干扰能力,大大降低了利用感应线圈或感应电极的传统透地通信方案中对于发射接收单元对准关系的依赖性。

[0027] 3. 本发明中,在常规模式下,正常运转的地下中继站和地下移动台构成地下移动通信系统,具有跨介质无线双工移动通信和定位功能;在应急模式下,地面台可以直接面向有效接收范围内的地下移动台构建透地广播信道,在系统工作环境恶化或应急状态下进行关键应急信息的透地传输与发布。

[0028] 常规模式下工作时,地面台和地下中继站间为长程透地通信链路,地下移动台可以通过地下中继站与地面台构建双工通信链路,地面台通过处理有效接收范围内正常工作的多个地下中继站同目标移动台间的交互信号,实现通信和定位。地下中继站和地下移动台处于地下,一方面可以以空气为传播介质,选用4G、5G、WIFI、蓝牙、ZigBee技术等不同的

无线通信协议,实现常规无线双工移动通信和定位功能,另一方面如果地下常规无线移动通信链路受阻挡,地下移动台用户活动空间受限或被地层阻挡时,地下中继站同地下移动台之间利用基于磁场量子精密测量的接收技术可启动短程跨介质透地移动通信链路,地下中继站和地下移动台之间能完成低能耗短程跨介质透地无线双工移动通信,同样也可以基于多个地下中继站的协作和身份识别实现对地下移动台在受限环境中的定位功能,从而构成跨介质的移动通信系统。

[0029] 综上所述,本发明提供了一种基于量子精密测量的透地移动通信方法和系统,一方面,基于低频磁场的量子精密测量来实现透地通信,可以在同等功率下显著增加透地通信的距离,另一方面,能够很好地解决传统透地通信方案中发射和接收端几何对准关系的受限问题,增强用户端的移动适应性,构筑起地下跨介质的移动通信系统,大大提高地下或密闭空间中通信的可靠性,还可以在应急模式下进行应急信息透地广播发布,提高事故发生后受困者的生还率,为救援人员和受困者的生命安全提供有力保障。

附图说明

[0030] 图1为本发明实施例一提供的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统的结构图;

[0031] 图2为本发明实施例一提供的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统的结构关系图;

[0032] 图3为本发明实施例一中地面台的信号发射与接收系统架构图;

[0033] 图4为本发明实施例一中地下中继站的结构示意图;

[0034] 图5为本发明实施例二中常规通信模式下地面台与地下移动台间的通信示意图;

[0035] 图6为本发明实施例二中应急通信模式下地面台与地下移动台间的通信示意图;

[0036] 图7为本发明实施例二中地下中继站与地下移动台的地下双工移动通信示意图;

[0037] 图中:1-地面台、2-地下中继站、3-地下移动台、4-第一原子磁力仪接收模块、5-第一基带信号处理器、6-地面控制单元、7-地面功率放大器、8-地上磁场发射模块、9-第二原子磁力仪接收模块、10-地下基带信号处理器、11-地下控制单元、12-地下功率放大器、13-地下磁场发射模块、14-第一无线收发模块。

具体实施方式

[0038] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例;基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0039] 实施例一

[0040] 本发明实施例一提供了一种基于量子精密测量的透地移动通信系统,以三轴或双轴原子磁力仪作为接收端传感器,实现低频长距离透地移动通信。该系统可以解决现有透地通信技术中存在的移动适应性差、传输距离有限、灵敏度低、设备功耗高等问题,同时针对不同的通信链路受损程度启动相应的通信模式。在系统应用实践过程中,能够面对不同传输介质不断进行对信道性能、传输可靠性以及时效性的优化。

[0041] 具体地,如图1所示,本实施例的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统包括地面台1、多个地下中继站2与多个地下移动台3构成的两类地下终端。所述地面台1设置于地面,所述地下中继站2和地下移动台3设置于地下。地面台1作为地面设备用于通过下行透地链路向多个地下中继站2或地下移动台3发送信号,在上行透地链路中直接接收多个地下中继站2发送的信号,完成地下终端同地面台1间的透地双工通信;地下中继站2具有接收和转发信号的功能,可以同地面台1进行透地双工通信,也可以同地下移动台3进行短程跨介质透地移动通信和常规的无线双工移动通信;地下移动台3可以借助地下中继站2与地面台1进行透地双工通信。关键地,在地下中继站2和地下移动台3间直接常规无线移动通信链路受阻时,可启用短程跨介质透地移动通信链路实现跨介质双工移动通信;特别地,在系统受损更加严重时,即使地下中继站2失能情况下,地下移动台3还可以通过下行应急透地链路直接接收地面台1的应急信息,完成应急信息的广播发布与接收。

[0042] 地面台1和地下中继站2间为长程透地通信链路,利用第一透地通信模块和第二透地通信模块连接;地下中继站2和地下移动台3间为两种链路,其中利用第一无线收发模块14和第二无线收发模块建立常规无线移动通信链路,利用第二透地通信模块和第三透地通信模块建立短程跨介质透地移动通信链路;此外地面台1和地下移动台3间利用第一透地通信模块和第三透地通信模块建立长程透地应急链路。本发明基于低频磁场的量子精密测量来实现跨介质的透地通信,可以在同等功率下可显著增加透地通信的距离,并提高地下或密闭空间中通信的移动适应性和可靠性。

[0043] 具体地,如图2所示,本实施例中,所述地面台1包括第一透地通信模块、地面控制单元;所述地下中继站2分布于地下,包括第二透地通信模块、第一地下控制单元和第一无线收发模块14;所述地下移动台3分布于地下,包括第三透地通信模块、第二地下控制单元和第二无线收发模块;所述地面台1通过第一透地通信模块与地下中继站2和地下移动台3通信连接。特别地,一方面所述地下中继站2通过第二透地通信模块和地面台1通信连接,同时通过第二透地通信模块与所述地下移动台3通信连接,所述地下移动台3通过第三透地通信模块和地下中继站2连接进行通信中继,并进而同地面台1建立通信连接,构成了透地移动通信链路;另一方面所述地下中继站2通过第一无线收发模块14,地下移动台3通过第二无线收发模块,构成常规无线移动通信链路,实现地下终端间常规无线移动通信。从而在整体上构建起跨介质的透地移动通信系统。

[0044] 具体地,如图3所示,本实施例中,所述地面台1系统的第一透地通信模块,包括第一原子磁力仪接收模块4和地上磁场发射模块8,所述第一原子磁力仪接收模块4作为接收端接收从地下中继站2中第二透地通信模块发射端发送的低频磁场长程透地通信信号后传输给所述地面控制单元6,所述地上磁场发射模块8作为发射端将地面控制单元6处理的通信信号通过低频磁场载波发射出去构成长程透地通信链路。

[0045] 所述第二透地通信模块和第三透地通信模块结构相同,均包括第二原子磁力仪接收模块9和地下磁场发射模块13。所述第二原子磁力仪接收模块9作为接收端可接收第一透地通信模块发射端发送的低频磁场长程透地通信信号,也可以接收对应地下终端地下磁场发射模块13发送的低频磁场短程透地通信信号。

[0046] 具体地,本实施例中,所述第一原子磁力仪接收模块4和第二原子磁力仪接收模块9为三轴原子磁力仪或双轴原子磁力仪。本实施例中,所述第一原子磁力仪接收模块4和第

二原子磁力仪接收模块9有两种技术路线,便于磁场信号双极化传输方式的探测以及磁场矢量信号的分析 and 噪声抑制处理;一种是采用两组双轴原子磁力仪,磁力仪的敏感轴数量存在冗余;另一种是三轴原子磁力仪,从x、y、z三个方向上对磁场矢量进行测量,获得有效信号,提高信噪比。以上两种方式相较于传统透地通信,优势主要体现为摆脱了发射和接收端对几何对准关系的依赖,增加了透地通信系统的移动适应性。

[0047] 具体地,本实施例中,所述第一透地通信模块,第二透地通信模块和第三透地通信模块中,原子磁力仪利用多轴同步探测,实现正交极化信号差分 and 冗余探测模式。

[0048] 具体地,本实施例中,地下中继站2和地下移动台3间一方面可通过第二透地通信模块和第三透地通信模块实现短程低频磁感应透地移动通信功能;另一方面可通过第一无线收发模块14和第二无线收发模块实现常规无线移动通信功能。从而在地下中继站2和地下移动台3之间根据需求实现受限空间内可靠地跨介质无线移动双工通信功能。

[0049] 具体地,本实施例中,第一无线收发模块14和第二无线收发模块分别包括4G通信模块、5G通信模块、WIFI通信模块、蓝牙通信模块或ZigBee通信模块中的一种或多种。地下中继站2和地下移动台3间具有基于4G、5G、WIFI、蓝牙或ZigBee技术等不同的无线通信协议的常规无线移动通信功能。

[0050] 进一步地,如图3所示,本实施例中,所述第一透地通信模块还包括第一基带信号处理器5和地面功率放大器7;所述第一基带信号处理器5与所述地面控制单元6、第一原子磁力仪接收模块4和地面功率放大器7连接,地面功率放大器7与地上磁场发射模块8连接;地面控制单元6的输出信号经第一基带信号处理器5调制,再经地面功率放大器7放大后被所述地上磁场发射模块8发送,第一原子磁力仪接收模块4接收的信号经第一基带信号处理器5解调后发送给所述地面控制单元6。其中,本实施例中,第一原子磁力仪接收模块4从上行长程透地链路中接收到的信号经第一基带信号处理器5解调后的信息传输到地面控制单元6,地面控制单元6需发送的信息由第一基带信号处理器5调制到载波并通过地面功率放大器7后通过地上磁场发射模块8进入到下行长程透地链路。

[0051] 进一步地,如图4所示,本实施例中,所述地下中继站2配置有第二透地通信模块,其结构具体还包括地下基带信号处理器10和地下功率放大器12,所述地下基带信号处理器10与所述地下控制单元11、第二原子磁力仪接收模块9和地下功率放大器12连接,地下功率放大器12与地下磁场发射模块13连接;地下控制单元11的输出信号经地下基带信号处理器10调制后,再经地下功率放大器12放大后被所述地下磁场发射模块13发送,第二原子磁力仪接收模块9接收的信号经地下基带信号处理器10解调后发送给所述地下控制单元11,所述第一无线收发模块14通过所述地下基带信号处理器10与所述地下控制单元11连接。

[0052] 此外,本实施例中,地下移动台3和地下中继站2的结构基本相同,也包括地下基带信号处理器10和地下功率放大器12。不同的是,地下中继站2中第二透地通信模块的发射功率更大。

[0053] 本实施例中,地下中继站2和地面台1间的长程透地双工通信需要地下中继站2具有同地面台1一致的长程透地通信功能,而在地下中继站2和地下移动台3之间则首选高效的常规无线移动通信。但是由于地下移动台3使用者空间容易受限,地下空间的常规无线移动通信链路容易受阻,地下中继站2和附近地下移动台3之间需要在常规无线移动通信链路的基础上构建具有能够短程跨介质透地的无线移动通信链路以保障可靠的地下移动双工

通信。因此地下中继站2和地下移动台3的架构需要在地面台1实现透地通信的基础上于信号发射和信号接收环节对应增加第一无线收发模块14和第二无线收发模块实现常规无线移动通信功能。此外,本实施例中,所述地下中继站2的第二透地通信模块面向地面台1进行长程透地通信,所述地下移动台3的第三透地通信模块面向地下中继站2进行短程跨介质透地移动通信。

[0054] 具体地,本实施例中,所述地下中继站2和地下移动台3还包括备用电池。此外,地下移动台3应满足可穿戴设备的能耗和电磁兼容要求。

[0055] 所述地上磁场发射模块8和地下磁场发射模块13为磁场发生线圈或者磁场发生电极。

[0056] 实施例二

[0057] 本发明实施例二提供了一种基于量子精密测量的透地移动通信方法,基于实施例一所述的一种基于量子精密测量的透地移动通信系统实现。

[0058] 如图5所示,常规通信模式下,地面台1和地下中继站2之间实现长程透地双工通信,地面台1通过长程透地链路将信号发送到地下中继站2,地下中继站2接收到信号并转发到地下移动台3,地下移动台3发送信号到地下中继站2,地下中继站2将信号通过长程透地链路转发到地面台1。具体地,上行链路为:一方面地下移动台3可以通过第二无线收发模块发送信号,地下中继站2通过第一无线收发模块14接收信号,构成地下常规无线移动通信上行链路;另一方面地下移动台3可以通过第三透地通信模块发送短程透地信号,地下中继站2通过第二透地通信模块接受信号,构成地下短程跨介质透地移动通信上行链路;随后通过地下中继站2的第二透地通信模块将信号转发,地面台1通过第一透地通信模块接收信号;下行链路为:地面台1通过第一透地通信模块将信号下发到长程透地链路,地下中继站2通过第二透地通信模块接收到信号并通过第一无线收发模块14转发到常规无线移动通信下行链路,或通过第二透地通信模块转发到短程跨介质透地移动通信下行链路,地下移动台3通过第二无线收发模块从常规无线移动通信下行链路接收信号,或通过第三透地通信模块从短程跨介质透地移动通信下行链路接收信号。

[0059] 如图6所示,应急通信模式下,在地下中继系统彻底失能,即地面台1与地下中继站2之间、地下中继站2与地下移动台3之间的双工透地通信信道因故被损坏,地面台1能够通过该应急信道向地下移动台3直接发送广播信息。地面台1通过第一透地通信模块向长程透地通信下行链路发送应急信息和救援指令,地下移动台3通过第三透地通信模块从长程透地通信下行链路接收信号。

[0060] 如图7所示,本实施例中,地下中继站2与地下移动台3间地下移动通信链路有两类,分别为常规无线移动通信链路和短程跨介质透地移动通信链路。地下中继站2和地下移动台3处于地下时,以空气为传播介质,地下中继站2可以选用4G、5G、WIFI、蓝牙、ZigBee技术等不同的无线通信协议,实现与地下移动台3的常规无线移动双工通信和定位功能,同时需要利用量子精密测量的接收技术实现地下中继站2和地下移动台3之间低能耗、短程透地的跨介质透地移动双工通信,满足地下常规无线移动通信链路受阻,地下移动台3用户活动空间受限时移动通信的需求。此外在地下移动台3同地下中继站2空间受阻时的透地通信模式中,需要基于身份识别和多个地下中继站2的协作实现对地下移动台3的定位功能。

[0061] 本实施例中,地下中继站2与地下移动台3之间的短程跨介质透地移动通信方式属

于低功耗短距离的透地通信,区别于地面台1与地下中继站2、地面台1与地下移动台3之间高功耗的长程透地通信模式。

[0062] 具体地,本实施例的一种基于量子精密测量的透地移动通信方法,还包括以下步骤:上行透地链路为:地下移动台3通过第三透地通信模块发送信号,地下中继站2通过第二透地通信模块接收信号,再通过第二透地通信模块转发信号,地面台1通过第一透地通信模块接收信号;下行透地链路为:地面台1通过第一透地通信模块发射信号,地下中继站2通过第二透地通信模块接收信号,再通过第二透地通信模块转发信号,地下移动台3通过第三透地通信模块接收信号。

[0063] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

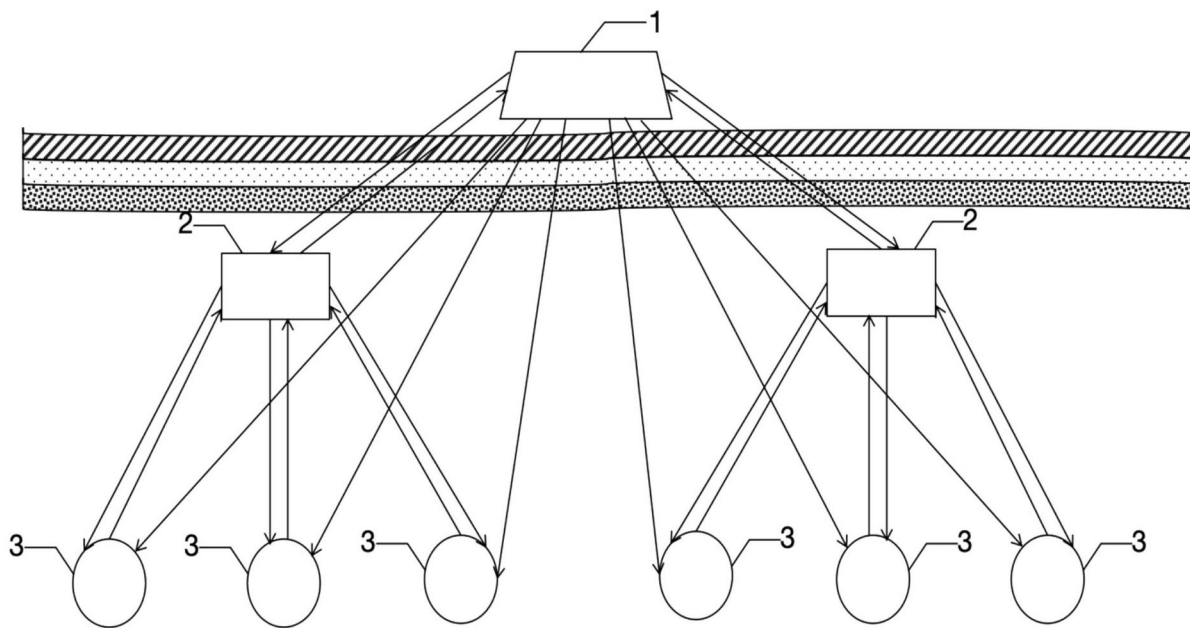


图1

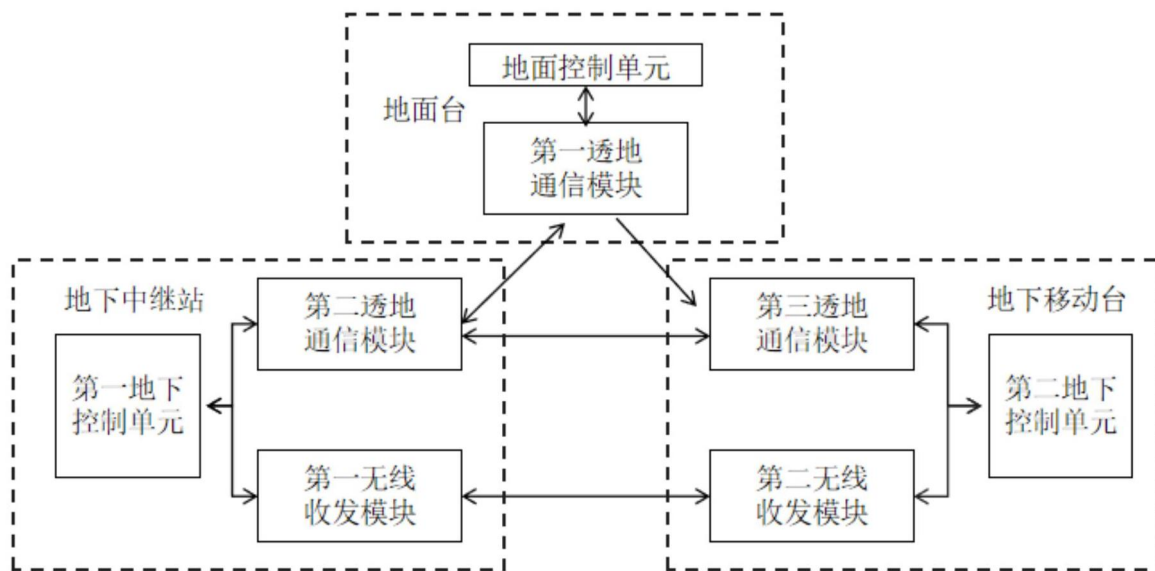


图2

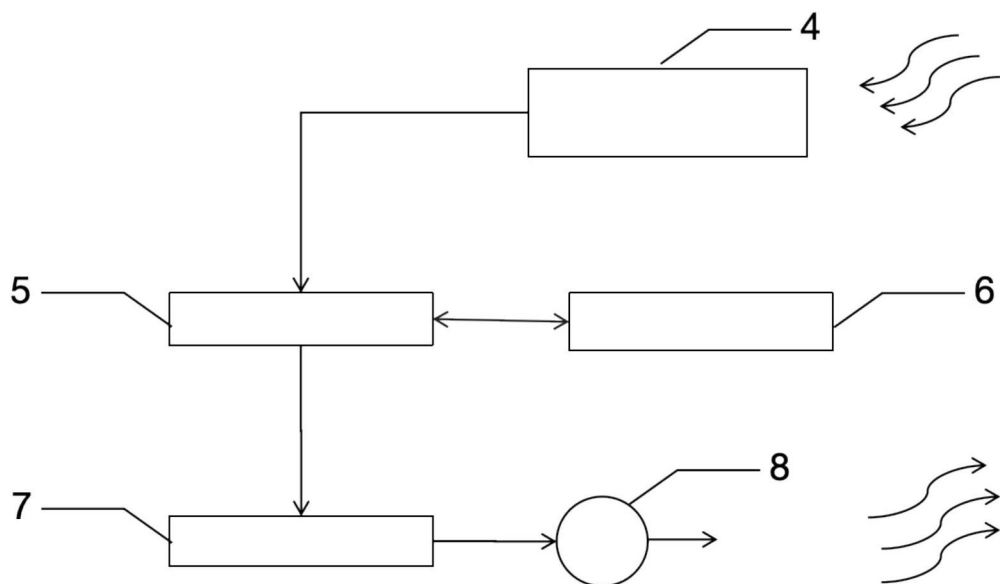


图3

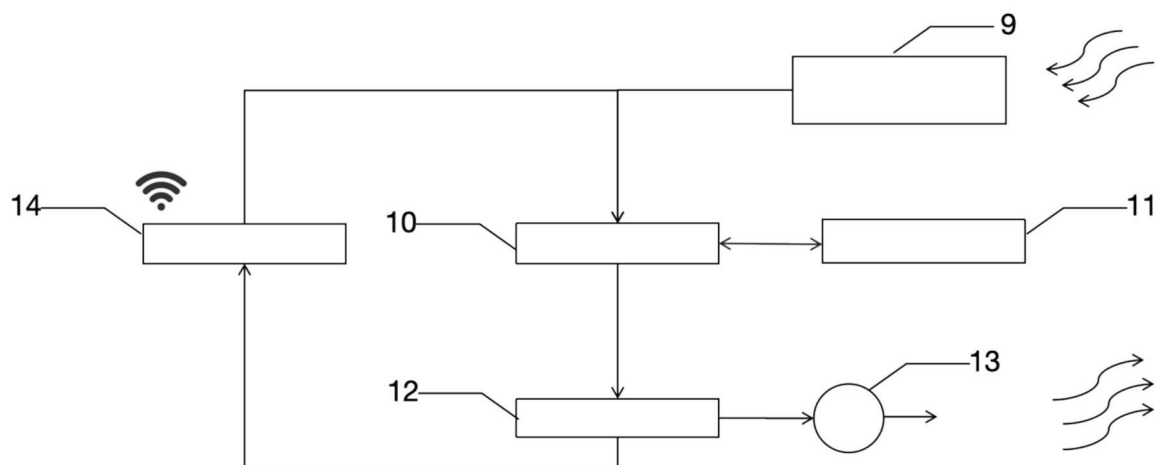


图4

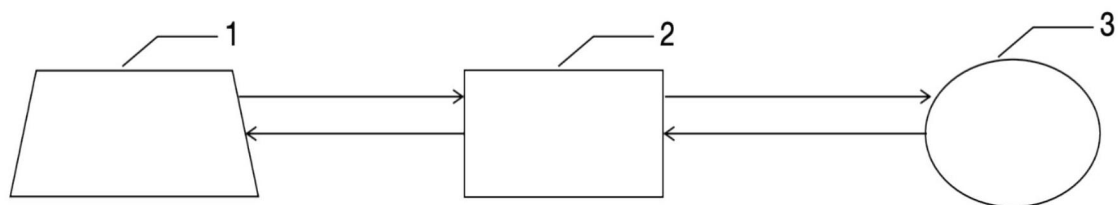


图5

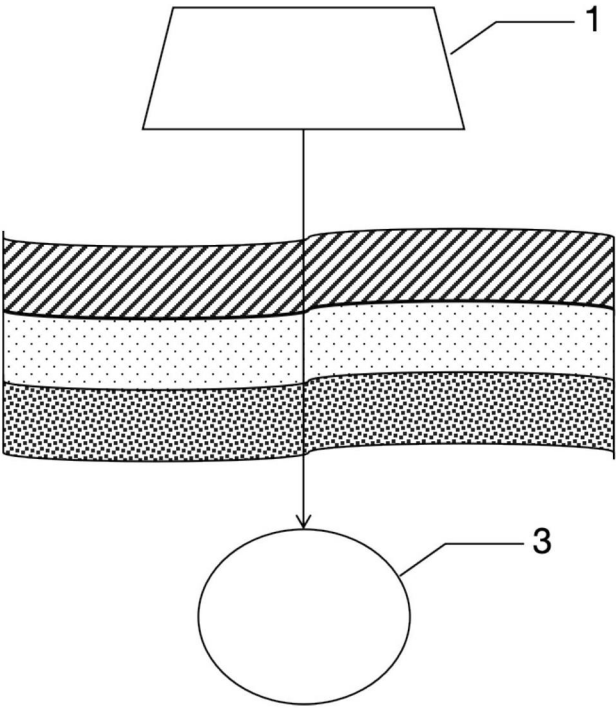


图6

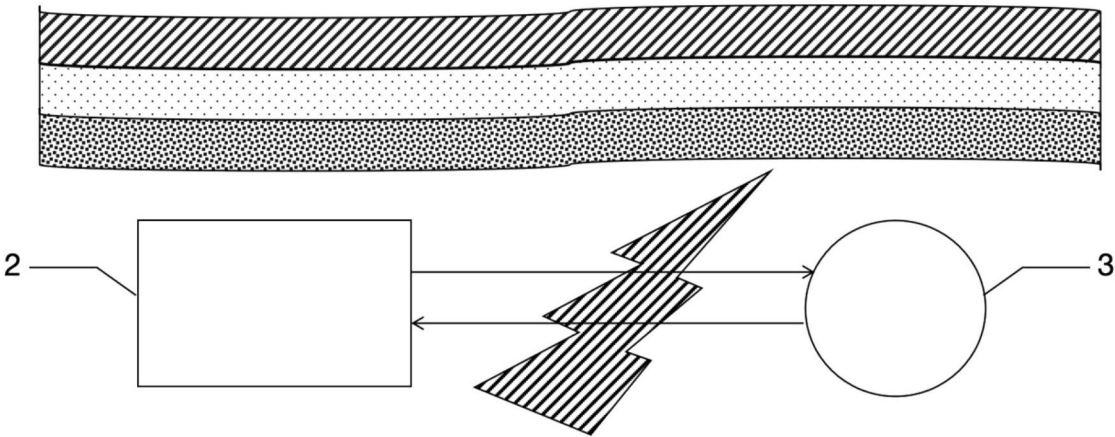


图7