



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 202583451 U

(45) 授权公告日 2012. 12. 05

(21) 申请号 201220195963. 8

(22) 申请日 2012. 05. 03

(73) 专利权人 中国矿业大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路丁 11 号  
中国矿业大学(北京)

(72) 发明人 田子建 李宗伟

(51) Int. Cl.

G01S 5/00(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

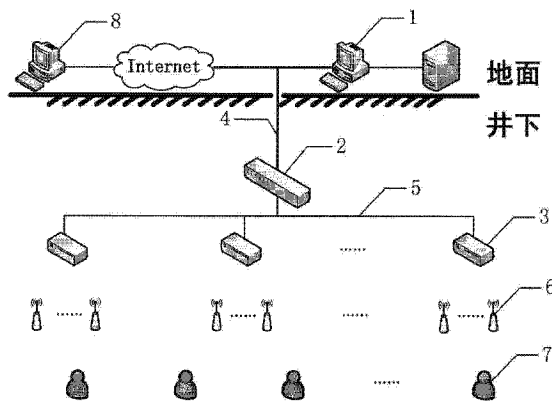
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 6 页

(54) 实用新型名称

井下电磁波超声联合定位系统

(57) 摘要

本实用新型公开了一种用于煤矿井下的电磁波超声联合定位系统。本系统包括设在井上的地面监控中心,设在井下的中心站,多个网关节点,光纤,总线,多个锚节点,多个移动节点,设在远地的上层终端,其中应用于井下的设备均是本质安全型的。本定位系统根据巷道的空间结构和电磁波、超声波的本身属性特点,使用可以同时发射电磁波和超声波两种无线信号的移动节点,根据对数-常态模型,使用电磁波测得移动节点与锚节点的距离,根据 TOF 测距原理,使用超声波测得移动节点到巷道壁的距离及巷道底面的距离,进而使用简单的算法直接得到移动节点的坐标位置,实现精确定位。本实用新型的井下电磁波超声联合定位系统定位精度高,成本低,并且耗能少,系统设备结构简单。



1. 一种井下电磁波超声联合定位系统,其特征在于,包括地面监控中心,上层终端,井下中心站,网关节点,光纤,总线,锚节点,移动节点;

所述地面监控中心是一台计算机或者服务器,或者是多台计算机或者服务器组成的计算机网络;地面监控中心从井下中心站接收从井下来来的定位数据包,处理定位数据包;

所述井下中心站是交换机,汇聚网关节点通过总线发过来的定位数据包,通过光纤传输到地面监控中心;

所述网关节点布设在支巷道的端点,接收锚节点转发的移动节点发射的定位数据包,通过总线传送到井下中心站;

所述每个移动节点分配一个识别码,与移动目标唯一对应,对应关系存储于地面监控中心;移动节点以超声波为传输介质向一侧巷道壁及巷道底面发射超声波信号并接收反射回波,测量其与巷道壁的距离和其与巷道底面的距离,以电磁波为传输介质与锚节点进行通信,获取锚节点发射信号的接收强度和锚节点数字编号,处理形成定位数据包;移动节点将定位数据包发送给最近的锚节点,定位数据包经过锚节点间的存储转发至地面监控中心;

所述锚节点悬挂于巷道顶板,距两侧巷道壁距离相等,所有锚节点到巷道底面距离相同;锚节点向移动节点发射电磁波定位信号,接收移动节点发射的电磁波定位请求信号和定位数据包,将移动节点的定位数据包发送至相邻锚节点或网关节点,每个锚节点接收相邻锚节点的数据包并存储转发至相邻的另一个锚节点,接力转发数据包直至到网关节点,每个锚节点分配一个数字编号N,数字编号与其位置坐标对应,对应关系存储于地面监控中心;规定井下巷道纵向坐标轴坐标增大的方向为正方向,N的数值沿着正方向增大;

所述总线是CAN总线,或局域网总线,或RS-485总线,连接网关节点与井下中心站,实现网关节点与井下中心站之间的数据传输;

所述光纤连接井下中心站与地面监控中心,实现地面监控中心与井下中心站的数据传输;

所述网关节点、锚节点和移动节点上安装传感器,检测周围的环境信息,采用与定位数据信息相同的传输方式,将数据传送到地面监控中心;

所述上层终端是处在远地的监控中心,通过Internet网络与地面监控中心连接,获取实时监测数据;

所述井下电磁波超声联合定位系统中的井下设备,包括网关节点、总线、锚节点、移动节点,全是本质安全型设备。

2. 根据权利要求1所述井下电磁波超声联合定位系统,其特征在于,所述网关节点包括:处理器存储器单元、电磁波收发单元、传感器、电源、总线模块;

所述锚节点包括:处理器存储器单元、电磁波收发单元、传感器、电源;

所述移动节点包括:处理器存储器单元、电磁波收发单元、超声波收发单元、传感器、电源。

3. 根据权利要求2所述井下电磁波超声联合定位系统,其特征在于,网关节点、锚节点、移动节点中的传感器、电磁波收发单元、移动节点中的超声波收发单元和网关节点中的总线模块分别与各节点中的处理器存储器单元相连;各节点的电磁波收发单元接收和发送无线电磁波信号,移动节点中的超声波收发单元接收和发送超声波信号;网关节点、锚节点

和移动节点中的传感器检测周围环境的温度、湿度、甲烷浓度信息；各节点中的处理器存储器单元存储、处理接收的数据，控制其它单元的运行；网关节点中的总线模块连接总线；各节点中的电源提供电能。

## 井下电磁波超声联合定位系统

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及煤矿井下安全监控领域,具体地说,是涉及一种煤矿井下电磁波超声联合定位系统。

### 背景技术

[0002] 煤炭是我国的主要能源,但由于我国煤田地质条件复杂,生产条件恶劣,井下作业人员的安全受到严重威胁。一旦发生事故,地面人员需及时掌握井下人员的具体位置。因此,研究煤矿井下目标精确定位方法与系统,对于保障井下安全生产、应急救援都具有重要的现实意义,井下目标定位系统精度的提高将极大地促进煤矿井下安全生产水平的提升。

[0003] 由于巷道相对密闭,无法借助 GPS 等地面已有的卫星定位来辅助井下的目标定位;矿井定位目标是在限定空间内,定位设备的体积不能太大;井下具有甲烷等可燃性气体和煤尘,井下定位装置必须是防爆型电气设备;巷道内的无线信道环境恶劣,存在着大量的反射、散射、衍射以及透射等现象。这些使地面成熟的定位方法不能直接应用于煤矿井下。

[0004] 目前国内外目标定位技术采用的无线传输介质主要以电磁波为主。以电磁波为传输介质的定位方法主要分为基于测距 (Range-based) 的方法和基于非测距 (Range-free) 方法。Range-based 方法通过测量点到点的距离和角度,使用三边测量 (Trilateration)、三角测量 (Triangulation) 或最大似然估计 (Multilateration) 算法计算节点的位置;Range-free 方法则根据网络的连通属性估算节点位置。

[0005] Range-based 方法主要有接收信号强度指示 (Received Signal Strength Indication, RSSI)、到达时间 (Time of Arrival, TOF)、到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA) 和到达角度 (Angle of Arrival, AOA) 等,后三种方法对硬件的要求都非常高,从成本角度考虑,不适合应用于煤矿井下,基于 RSSI 方法进行测距时,当距离较小时对接收机的灵敏度要求很高,误差难以保证。

[0006] 典型的 Range-free 定位算法包括 DV-Hop、凸规划、MDS-MAP 等,Range-free 方法无需测量节点间的距离和到达角度,在无线节点的成本和功耗方面有一定的优势,但是定位精度与锚节点的密度和布置策略有关,提高精度就需要增加锚节点的密度,但锚节点的布置受巷道和工作环境限制,一方面,狭窄的空间内无法保证锚节点的随意布置,另一方面,增加锚节点的数量除了意味着成本的提高外,还导致故障率的升高和可靠性的降低。

[0007] 目前国内取得矿用产品安全标志证的井下目标定位系统(有些称为位置检测系统或作业人员管理系统等),均采用电磁波作为无线传输介质,有基于 RFID、蓝牙、WiFi 和 ZigBee 等不同技术和协议,其中以 RFID 技术最普遍,但 RFID 的技术特点决定了定位精度取决于读卡器的密度,这就限制了定位精度的提高,所以很多基于 RFID 技术的系统严格地说并不具备“定位”功能,而只是“位置检测”,只能确定井下人员的大致区域;蓝牙技术传输距离短,抗干扰能力差,矿井环境中稳定性较差;目前,在国内使用的目标定位系统的精度均

大于 5 米,目前国内矿井巷道的宽度一般不大于 10 米,也就是说,目前矿井目标定位系统只能给出定位目标在巷道纵向上的信息。

[0008] 国内矿井目标定位系统传输介质全部是电磁波,如采用基于测距的 TDOA 和 AOA 定位算法,对硬件要求很高,井下的硬件条件基本无法满足,如采用基于测距的 RSSI 方法,在近距离范围内精度很难保证,如采用基于非测距方法,对锚节点的密度和布置策略有很高的要求,这在煤矿井下工作环境中是难以实现的。

[0009] 利用超声波进行较近目标测距时可以达到较高的精度;超声波的传播速度远低于电磁波,对硬件要求较低;超声波分辨率较高,对光照度和电磁场不敏感,适应煤矿井下恶劣环境;超声波测距只需一端发射信号,另一端无需安装其他装置,只通过检测反射回来的超声波到达的时间,就可以实现非常精确的测距,超声波测距结构简单,易于小型化与集成化。但是,超声波在空气中的衰减较大,只适用于较小距离内的测距。

[0010] 综上所述,电磁波和超声波有各自的优势,单纯的使用一种无线介质难以实现井下目标精确定位。

### 实用新型内容

[0011] 针对现有技术的不足,本实用新型公开了一种定位精度高、结构简单、成本低的井下目标定位系统。该系统根据电磁波、超声波本身的物理属性特点,并结合巷道的空间结构特点,利用少数的锚节点和简单的算法实现实时精确的目标定位,可以很好的满足矿井生产调度和灾后及时救援的需要。

[0012] 本实用新型的井下电磁波超声联合定位系统功能的实现思想如下:

[0013] 井下移动目标(包括井下工作人员和其他移动设备)携带移动节点,锚节点安置在巷道顶板,移动节点通过向一侧巷道壁发射超声波信号测得移动节点的横向坐标,通过向巷道底面发射超声波信号,测得移动节点的高度,并通过接收锚节点发射的电磁波定位信号,测得其信号强度来获得锚节点到移动节点的距离,根据以上数据,通过简单的算法即可得到移动节点在巷道内的坐标位置。

[0014] 上述系统是一种基于无线传感器网络的井下目标定位系统,包括地面监控中心、上层终端、井下中心站、网关节点,光纤,总线,定位锚节点,移动节点。在系统中涉及的井下设备包括:井下中心站,网关节点,总线,定位锚节点,移动节点,全部是本质安全型设备。

[0015] 所述地面监控中心是一台计算机或者服务器,或者是多台计算机或服务器组成的计算机网络。地面监控中心从井下中心站接收从井下发来的定位数据包,处理定位数据包,并且,地面监控中心通过 Internet 网络连接上层终端,将实时的监测数据传送给上层终端。

[0016] 所述上层终端是处在远地的监控中心,通过 Internet 网络与地面监控中心连接,获取实时监测数据。

[0017] 所述井下中心站是本质安全型交换机,负责汇聚网关节点通过总线发过来的信息,并通过光纤传输到地面监控中心。

[0018] 所述网关节点包括:处理器存储器单元、电磁波收发单元、传感器、电源及总线模块。网关节点支持 IEEE802.15.4 等协议,锚节点与网关节点之间的无线通信采用 IEEE802.15.4 等协议,网关节点布设在每条支巷道的末端负责接收锚节点转发的数据包,

并将其通过总线传送到井下中心站。

[0019] 所述锚节点包括：处理器存储器单元、电磁波收发单元、传感器、电源。锚节点悬挂于在巷道的顶板，到两侧巷道壁的距离相等，并且所有锚节点与巷道底面的距离都相同，锚节点负责向移动节点发射电磁波定位信号，接收移动节点的电磁波定位请求信号和定位数据包，锚节点与移动节点的无线通信采用 IEEE802.11b 协议，锚节点将移动节点的定位数据包发送至相邻锚节点或网关节点，每个锚节点接收相邻锚节点的定位数据包并存储转发至相邻的另一个锚节点，接力转发定位数据包直至网关节点，锚节点与网关节点之间以及锚节点与锚节点之间的无线通信均采用 IEEE802.15.4 等协议，每个锚节点分配一个唯一的数字编号 N，与其坐标位置相对应，对应关系存储于地面监控中心；规定井下巷道纵向坐标轴坐标增大的方向为正方向，N 的数值沿着正方向增大。

[0020] 所述移动节点包括：处理器存储器单元、电磁波收发单元、超声波收发单元、传感器、电源，每个移动节点对应一个唯一的识别码，对应关系存储于地面监控中心。移动节点使用超声波测量其与巷道壁和巷道底面的距离，移动节点采用 IEEE802.11b 协议与锚节点进行通信，获取锚节点发射信号的接收强度和锚节点数字编号，处理形成定位数据包；移动节点同样采用 IEEE802.11b 协议将定位数据包发送给最近的锚节点，数据包经过锚节点间的存储转发至地面监控中心。

[0021] 所述总线是 CAN 总线，或局域网总线，或 RS-485 总线，连接网关与井下中心站，实现网关节点与井下中心站之间的数据传输。

[0022] 所述光纤连接井下中心站与地面监控中心，实现井下中心站与地面监控中心之间的数据传输。

[0023] 所述井下电磁波超声联合定位系统的网关节点、锚节点和移动节点上的传感器，用于检测周围环境信息，采用与定位数据相同的传输方式，将数据传送到地面监控中心。

[0024] 本实用新型的有益效果是：

[0025] 1. 本实用新型采用基于 TOF(time of flight) 的超声测距方法测得移动节点的横向坐标，超声测距可以由移动节点独立完成，无需其它锚节点配合，使得定位系统所需的锚节点数量大幅度减少，极大的减少了构建整个系统的成本及能量开销。

[0026] 2. 本实用新型采用电磁测距测量较远范围内的距离，使用超声波测距测量较近范围内的距离，超声波测距的精度很高，可以达到毫米级，甚至更高，目前煤矿井下普遍使用的基于 RFID(Radio Frequency Identification) 射频识别技术，只能确定移动节点是否通过某个读卡器，本实用新型大大提高了定位的精度。

[0027] 3. 本实用新型采用直接测得横纵坐标的方法，并且算法非常简便，使得算法对硬件的要求大幅度降低，减小了因为复杂的算法带来的电能消耗，算法的简单使得系统中传送到数据很少，减小了定位数据占用的带宽，也减小了定位的延时。

## 附图说明

[0028] 图 1 是本实用新型的定位系统组成框图；

[0029] 图 2 是本实用新型的定位系统井下布设示意图；

[0030] 图 3 是本实用新型的移动节点电路框图；

[0031] 图 4 是本实用新型的锚节点的电路框图；

- [0032] 图 5 是本实用新型的网关节点的电路框图；
- [0033] 图 6 是本实用新型的定位系统巷道内俯视示意图；
- [0034] 图 7 是本实用新型的定位系统巷道内侧面示意图；
- [0035] 图 8 是本实用新型的定位系的移动节点锚节点位置关系示意图；
- [0036] 图 9 是本实用新型的定位系统巷道内侧面简图；
- [0037] 图 10 是本实用新型的定位系统巷道内俯视简图；
- [0038] 图 11 是本实用新型的定位系统功能实现的立体简图。

### 具体实施方式

[0039] 为了使本实用新型技术方案的内容和优势更加清楚明了，以下结合附图，对本实用新型的井下电磁波超声联合定位系统进行进一步的详细说明。

[0040] 本实用新型是一种基于无线传感器网络的井下目标定位系统，主要针对在井下目标定位方面现有技术存在定位精度、成本限制等方面的不足，基于电磁波、超声波的本身属性及井下巷道的空间结构特点，提出一种适用于煤矿井下，基于无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 的井下电磁波超声联合定位系统。

[0041] 本实用新型定位系统功能的实现主要用移动节点本身和一个锚节点来完成：井下移动目标（包括井下工作人员和其他移动设备）携带移动节点，锚节点安置在巷道顶板，其距两侧巷道壁的距离相等，两个锚节点之间的距离根据移动节点发射的电磁波的信号覆盖半径设定，保证移动节点在巷道内任意位置都至少有两个锚节点能够接收到其发射的电磁波信号；移动节点通过向一侧巷道壁发射超声波信号测得移动节点的横向坐标，通过向巷道底面发射超声波信号，测得移动节点的高度，通过接收锚节点发射的电磁波定位信号，获得其信号强度来测得锚节点到移动节点的距离，根据以上数据，通过简单的算法即可得到移动节点在巷道内的位置坐标。

[0042] 下面结合附图，详细说明本实用新型定位系统的构成及其功能的实现方法。

[0043] 图 1 是本实用新型的定位系统组成框图。

[0044] 如图 1 所示，本实用新型的定位系统包括：地面监控中心 1、井下中心站 2、网关节点 3、光纤 4、总线 5、锚节点 6、移动节点 7、上层终端 8。

[0045] 地面监控中心是一台计算机或者服务器，或者是多台计算机或者服务器组成的计算机网络。地面监控中心从井下中心站接收从井下发来的定位数据包，并处理定位数据包。并且，地面监控中心通过 Internet 网络连接上层终端，将实时的监测数据传送给上层终端。

[0046] 上层终端 8 是处在远地的监控终端，通过 Internet 网络与地面监控中心连接，获取实时监测数据。

[0047] 井下中心站 2 是交换机，负责汇聚网关节点通过总线发过来的数据信息，并通过光纤传输到地面监控中心。

[0048] 图 2 是本实用新型的定位系统井下布设示意图。

[0049] 如图 2 所示，9 为井下中心站，它位于井下大巷的枢纽位置，便于通过总线汇聚网关节点发送的信息和通过光纤 4 将井下的信息传输到地面监控中心；10 为网关节点，12 为锚节点，13 为移动节点，在巷道内锚节点沿巷道纵向一字排开吊挂在巷道顶板，锚节点到

两侧巷道壁的距离相等,所有锚节点到巷道底面的距离相同,任意两个相邻锚节点的距离应不大于锚节点间无线通信距离,不大于移动节点电磁波信号的覆盖半径,保证移动节点在巷道内任意位置都至少有两个锚节点接收到其发射的电磁波信号,网关节点布设在支巷道的端点,其与巷道端点处的锚节点的距离应不大于锚节点和网关节点之间的无线通信距离,以保证每条支巷道至少有一个锚节点可以通过视距的电磁波传输将移动节点发射的定位数据包转发给网关节点;11 为总线,网关节点通过总线与井下中心站连接,分支巷道内移动节点发射的定位数据包由锚节点间通过无线电磁波接力转发至网关节点,网关节点再将定位数据包通过总线汇总至井下中心站。

[0050] 图 3 是本实用新型的移动节点电路框图。

[0051] 如图 3 所示,移动节点包括处理器存储器单元 12、无线收发单元 13、传感器 14、电池 15。其中无线收发单元 13、传感器 14 都和处理器存储器单元 12 相连。无线收发单元 13 包括电磁波收发单元和超声波收发单元两部分,分别负责发送和接收电磁波信号和超声波信号,传感器 14 负责感知周围环境的温度、湿度、甲烷浓度等信息,对环境进行实时的监测;处理器与存储器的联系最为紧密所以看为一个单元 12,负责对接收数据的存储、处理和控制在其它单元的运行,另外,在移动节点存储器内存储着节点的识别码;电源 15 与每个单元连接,负责为各个单元提供电能。

[0052] 图 4 是本实用新型的锚节点的电路框图。

[0053] 如图 4 所示,锚节点包括处理器存储器单元 16、电磁波收发单元 17、传感器 18、电池 19。其与移动节点的电路框图相比只是将移动节点的无线收发单元变为电磁波收发单元,因为锚节点只发射和接收电磁波信号,其它部分与移动节点各部分功能相同。

[0054] 图 5 是本实用新型的网关节点的电路框图。

[0055] 如图 5 所示,网关节点包括处理器存储器单元 20、总线模块 21,电磁波收发单元 22、传感器 23、电源 24。网关节点的电路框图与锚节点电路框图相比,只多了一个总线模块 21,它的作用是连接总线,其它单元的作用与上面所述图 4 中的各单元作用相同。

[0056] 图 6 是本实用新型的定位系统巷道内俯视示意图,图 7 是本实用新型定位系统巷道内侧面示意图。

[0057] 如图 6、图 7 所示,25、29 均为锚节点,26、30 表示移动节点与锚节点相互发射的电磁波信号,27、31 均为移动节点,28 为移动节点向巷道壁发射的超声波信号以及反射回波,32 表示移动节点向巷道底面发射的超声波信号以及反射回波。

[0058] 移动节点周期性向锚节点发射电磁波定位请求信号,同时向巷道壁及巷道底面发射超声波信号,锚节点接收到移动节点发射的电磁波定位请求信号后,向移动节点发射电磁波定位信号,移动节点接收到锚节点的电磁波定位信号后,首先测得各锚节点的接收信号强度,记为  $P_{Ri}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为接收到的锚节点的信号数,选择信号强度最大前两个信号,提取这两个定位信号中的锚节点数字编号  $N_1$ 、 $N_2$ ,抛弃其它信号,  $N_1$  表示信号强度最大的锚节点的数字编号,  $N_2$  表示信号强度第二大的锚节点的数字编号,设其中最大的信号强度记为  $P_{Rmax}$ 。这里还要产生用于判断移动节点在锚节点的正负方向的方向指数  $k$ ,产生方法在后面介绍。设发射超声波的时刻为  $t_1$ ,接收到巷道壁反射波的时刻为  $t_{21}$ ,接收到巷道底面反射回波的时刻为  $t_{22}$ ,则超声波的渡越时间分别为  $t_{21}-t_1$  和  $t_{22}-t_1$ ,根据 TOF (time of flight) 渡越时间检测法即可求得移动节点到巷道壁和到巷道底面的距离。移动节点将



$P_{\text{Rmax}}$ 、 $t_1$ 、 $t_{21}$ 、 $t_{22}$ 、 $N_1$ 、移动节点的识别码和方向指数  $k$  打成定位数据包,通过临近的锚节点向上转发至地面监控端。

[0059] 图 8 是本实用新型的移动节点锚节点位置关系示意图。

[0060] 如图 8 所示,在锚节点 33 和锚节点 34 之间存在两个移动节点,分别是 35 和 36,移动节点 35 距离锚节点 33 较近,移动节点 36 距离锚节点 34 较近,在定位移动节点时,需要判断移动节点是在所选的锚节点的前方还是后方,井下巷道纵向坐标轴坐标增大的方向为正方向,则需要判断移动节点是在锚节点的正方向还是负方向。本发明采取如下方法:

[0061] 移动节点接收到附近锚节点的定位信号后,测出各定位信号到达时的信号强度,选择信号强度最大的两个信号,提取信号中锚节点的数字编号  $N_1$ 、 $N_2$ ,抛弃其它信号, $N_1$  表示信号强度最大的锚节点的数字编号, $N_2$  表示信号强度第二大的锚节点的数字编号,设一个方向指数  $k$ ,如果  $N_1 > N_2$ ,则方向指数  $k = 1$ ,如果  $N_1 < N_2$ ,则方向指数  $k = 2$ ;以图 8 中移动节点 35 为例,其测得信号强度最大的锚节点肯定是 33,第二大的是 34,则 33 的数字编号为  $N_1$ ,34 的数字编号为  $N_2$ ,设 34 在 33 的正方向, $N_1 < N_2$ ,则可判断  $k = 2$ ,即移动节点 35 在锚节点 33 的正方向。

[0062] 图 9 是本实用新型的定位系统巷道内侧面简图,图 10 是本实用新型的定位系统巷道内俯视简图。

[0063] 如图 9、图 10 所示,A 代表锚节点,B 和 B' 代表两个不同位置的移动节点,计算 B' 点坐标的方法与计算 B 的方法相同,下面主要以 B 点为例阐述,,图 9 中 AD 表示锚节点的高度,BE 表示移动节点的高度,因为移动节点在矿工或者井下设备上,与锚节点有一定的高度差,精确的定位算法不能忽略这个高度差,  $BE = CD$ ,则 AC 为锚节点与移动节点的高度差。AB 表示移动节点与锚节点之间的距离,通过锚节点发射到移动节点的电磁波定位信号的强度来求出,BE 通过移动节点向巷道底面超声波信号并接收反射回波的时间求出,设 BC 的长度为  $l$ ,则的  $l$  的计算式为 (1) 式。

$$[0064] \quad l = \sqrt{AB^2 - AC^2} = \sqrt{AB^2 - (AD - BE)^2} \quad (1)$$

[0065] 图 10 中 GI 和  $y$  轴都表示两个巷道壁,设两个巷道壁之间的距离为  $m$ ,因为锚节点到两侧巷道壁的距离相同,设锚节点 A 为的坐标为  $(\frac{m}{2}, y)$ ,则图 10 中 C 点的坐标也为  $(\frac{m}{2}, y)$ ,  $\frac{m}{2}$  为横向坐标, $y$  为纵向坐标, $\frac{m}{2}$  为已知量,AH 为锚节点到巷道壁的距离,且  $AH=CG=\frac{m}{2}$  为巷道壁之间距离的一半,BI 为移动节点到巷道壁的距离,为移动节点的横坐标,由图 10 可知,获得 CF 的长度即可获得移动节点的纵向坐标,则 CF 计算如 (2) 式。

$$[0066] \quad CF = \sqrt{l^2 - BF^2} = \sqrt{AB^2 - (AD - BE)^2 - (BI - AH)^2} \quad (2)$$

[0067] 则移动节点 B 的坐标为

$$[0068] \quad (m - BI, y + (-1)^k \cdot \sqrt{AB^2 - (AD - BE)^2 - (BI - \frac{m}{2})^2})$$

[0069]  $k = 1$  时说明移动节点在所选锚节点的负方向, $k = 2$  时说明移动节点在所选锚节

点的正方向。

[0070] 在井下通过电磁波信号的路径损耗求距离使用对数-常态分布模型最合适,对数-常态分布模型的表达式如式(3),式中 $P_L(d)$ 表示经过距离 $d$ 后的路径损耗,单位是dB; $\delta$ 为路径

$$[0071] \quad P_L(d) = P_L(d_0) + 10\delta \lg(d/d_0) + X_\sigma \quad (3)$$

[0072] 衰减因子,其数值取决于无线信号的传播环境,它是一个经验值; $d_0$ 为发射节点和参考节点之间的距离,一般取1m; $X_\sigma$ 为标准差为 $\sigma$ 的零均值正态分布随机变量,单位是dB。 $P_L(d_0)$ 可由自由空间模型取 $d = 1m$ 求出,自由空间传播模型公式如式(4),在(4)式中, $f$ 为载波工作频率,单位是MHz, $L_{OSS}$ 表示自由空间中电磁波经过距离 $d$ 后的衰减量。

$$[0073] \quad L_{OSS} = 32.44 + 10\delta \lg d + 10\delta \lg f \quad (4)$$

[0074] 设锚节点的发射功率为 $P_T$ ,上面已经介绍,移动节点接收到距离其最近的锚节点发射的电磁波信号强度为 $P_{Rmax}$ ,则 $P_T(d) = P_T - P_{Rmax}$ ,则根据公式(3)很容易获得锚节点与移动节点之间的距离为

$$[0075] \quad d = d_0 10^{\frac{P_T - P_{Rmax} - P_L(d_0) - X_\sigma}{10\delta}}$$

[0076] 取参考距离 $d_0$ 为1m,则图9中AB的长度为

$$[0077] \quad 10^{\frac{P_T - P_{Rmax} - P_L(d_0) - X_\sigma}{10\delta}}$$

[0078] 则移动节点的纵坐标为

[0079]

$$y + (-1)^k \cdot \sqrt{\left(10^{\frac{P_T - P_{Rmax} - P_L(d_0) - X_\sigma}{10\delta}}\right)^2 - (AD - BE)^2 - \left(BI - \frac{m}{2}\right)^2}$$

[0080] 基于TOF的超声测距公式如(6)式, $V$ 为声速, $T_1$ 为发射超声波时的时间, $T_2$ 为接收到

$$[0081] \quad L = V(T_2 - T_1)/2 \quad (6)$$

[0082] 反射回波的时间, $T_2 - T_1$ 为超声波的渡越时间, $L$ 即发射点到目标的距离。则移动节点B到巷道壁的距离BI的计算式为(7)式。

$$[0083] \quad BI = V(t_{21} - t_1)/2 \quad (7)$$

[0084] 同理,移动节点B到巷道底面的距离BE,如(8)式。

$$[0085] \quad BE = V(t_{22} - t_1)/2 \quad (8)$$

[0086] 设锚节点的高度为 $h$ ,则移动节点B相对于锚节点A的坐标为

[0087]

$$\left(m - V(t_{21} - t_1)/2, \quad y + (-1)^k \cdot \sqrt{\left(10^{\frac{P_T - P_{Rmax} - P_L(d_0) - X_\sigma}{10\delta}}\right)^2 - (h - V(t_{22} - t_1)/2)^2 - \left(V(t_{21} - t_1)/2 - \frac{m}{2}\right)^2}\right)$$

[0088] 图11是本实用新型的定位系统功能实现的立体简图。

[0089] 如图11所示,是定位系统巷道内移动节点同距其最近的锚节点配合完成的定位

的空间立体构想。

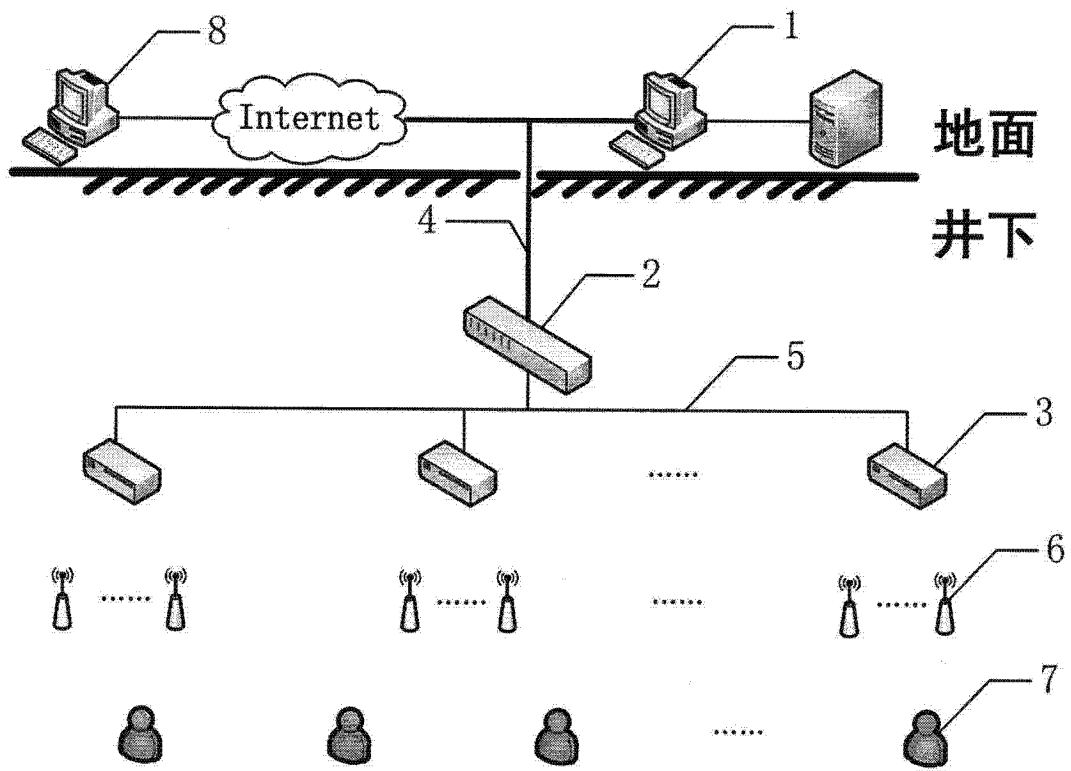


图 1

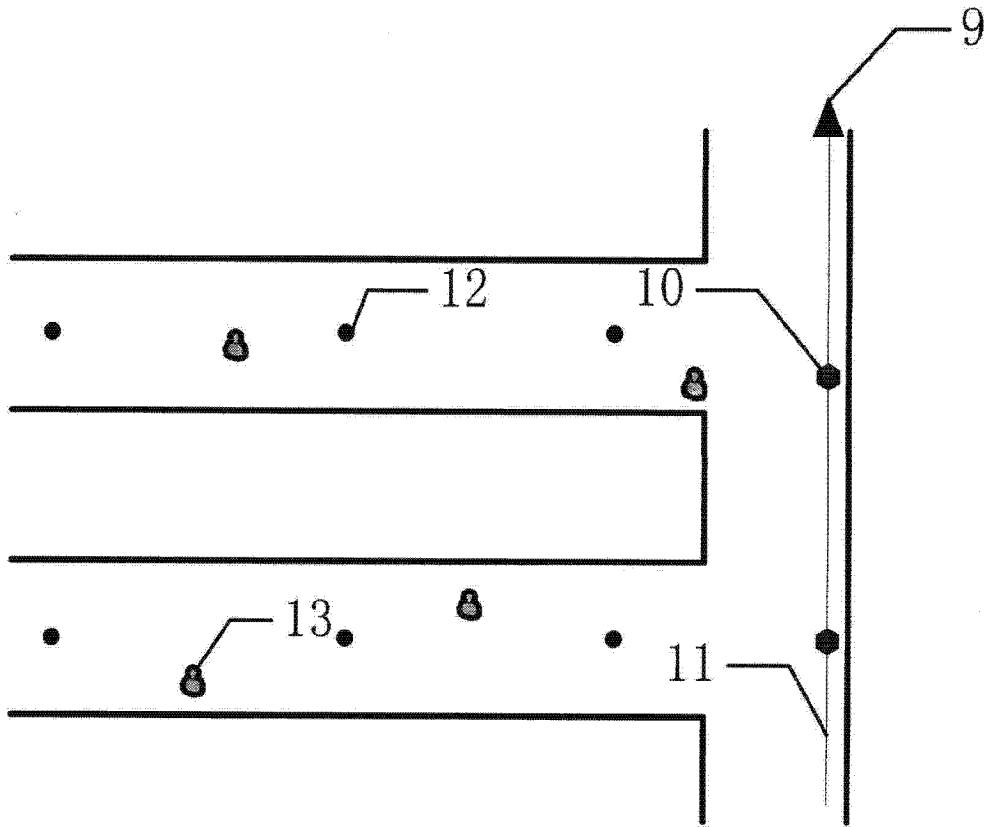


图 2

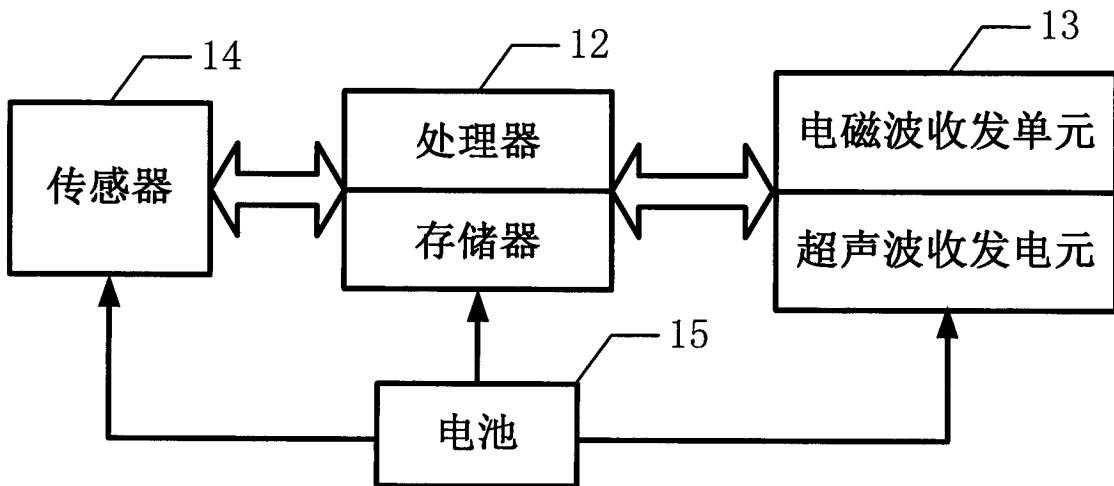


图 3

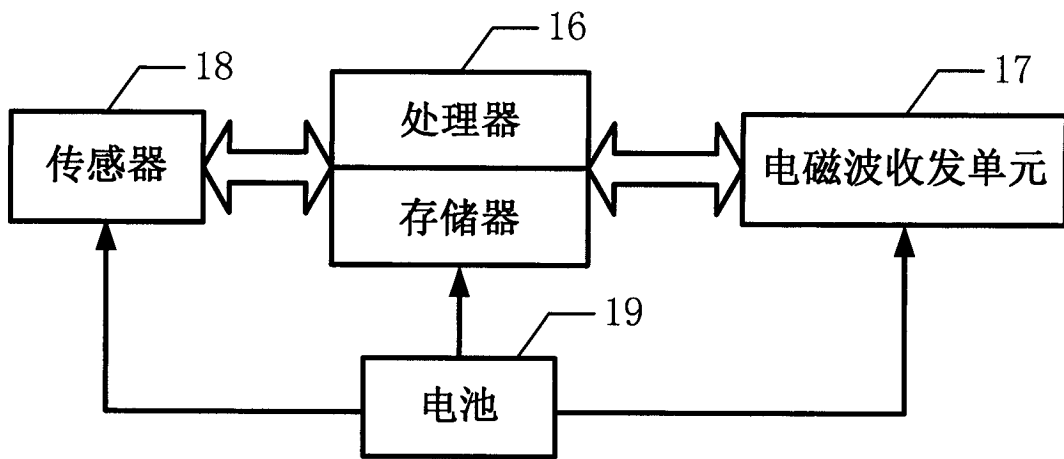


图 4

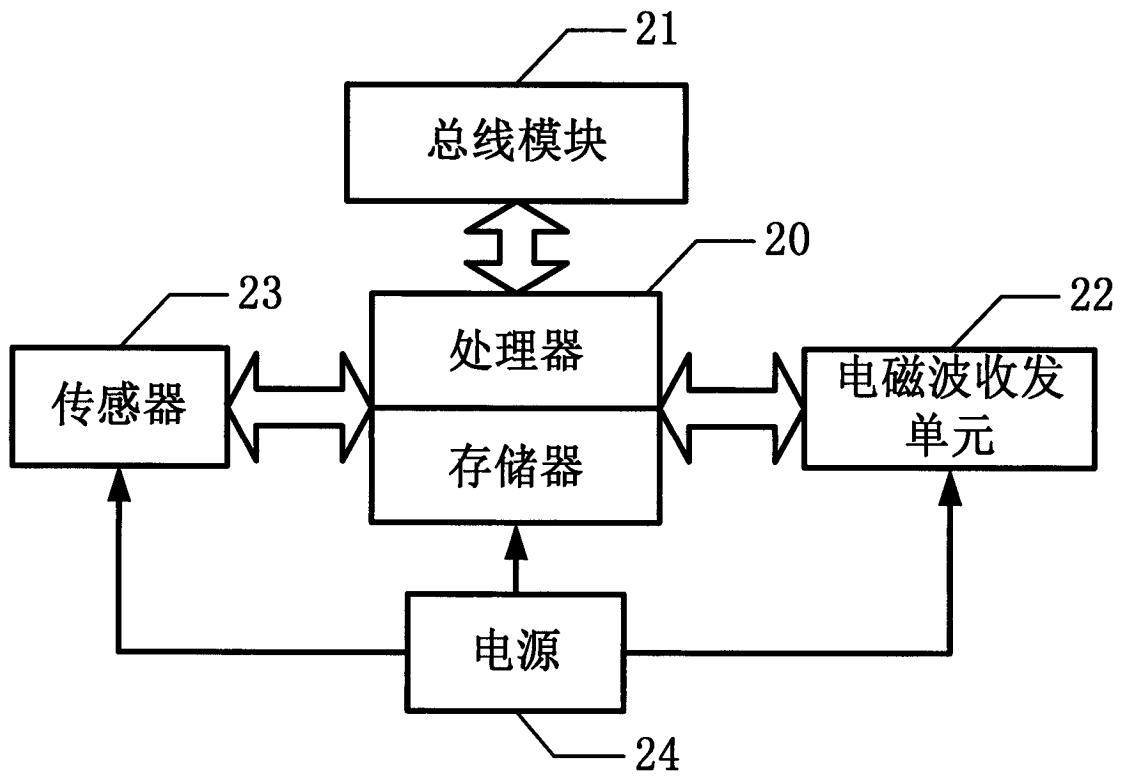


图 5

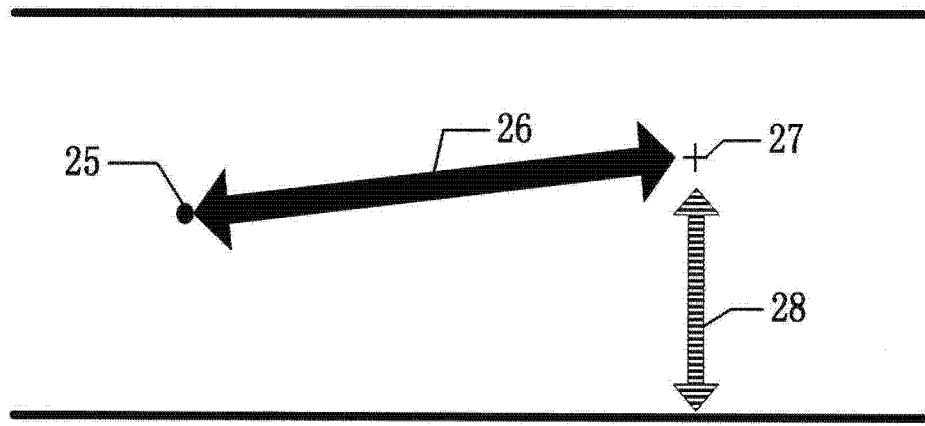


图 6

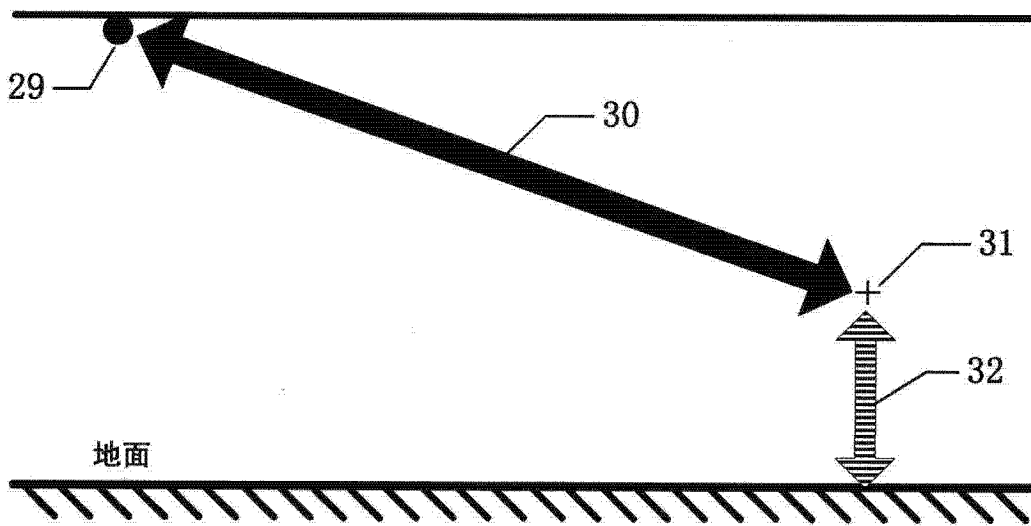


图 7

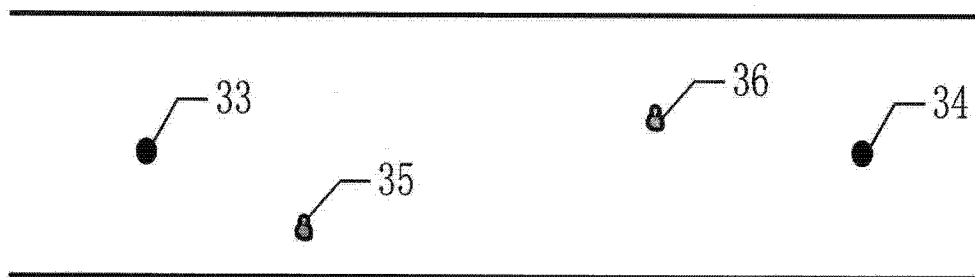


图 8

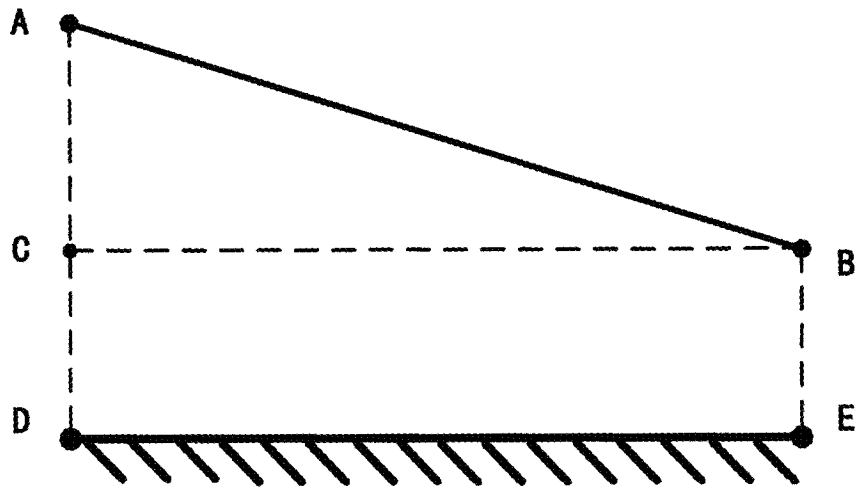


图 9

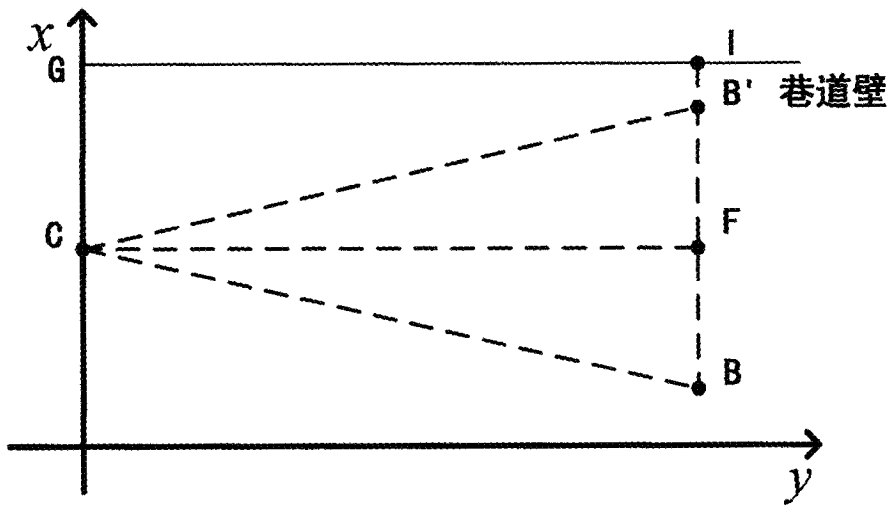


图 10



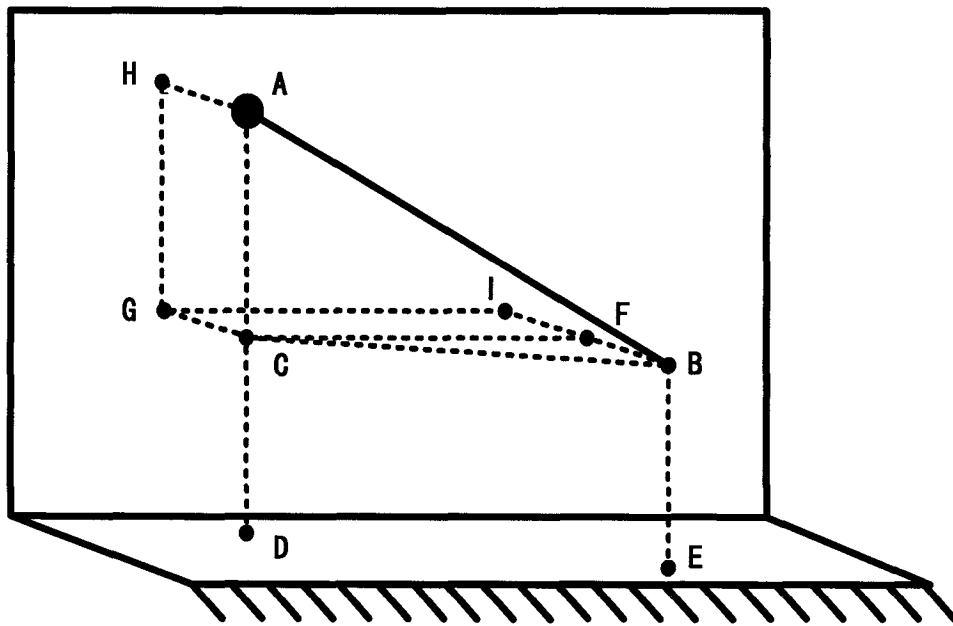


图 11