



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115835065 B

(45) 授权公告日 2023.08.04

(21) 申请号 202211438901.X

H04B 10/40 (2013.01)

(22) 申请日 2022.11.17

H04L 45/00 (2022.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115835065 A

(43) 申请公布日 2023.03.21

(73) 专利权人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工  
路2号

(72) 发明人 王雷 田宇 林驰 朱明 卢炳先

覃振权 樊鑫 罗钟铉

(74) 专利代理机构 辽宁鸿文知识产权代理有限

公司 21102

专利代理师 许明章 王海波

(51) Int. Cl.

H04Q 11/00 (2006.01)

H04B 10/80 (2013.01)

H04L 45/02 (2022.01)

H04L 45/12 (2022.01)

(56) 对比文件

CN 108768523 A, 2018.11.06

CN 108809443 A, 2018.11.13

CN 109246786 A, 2019.01.18

CN 112954769 A, 2021.06.11

CN 113595651 A, 2021.11.02

CN 113810974 A, 2021.12.17

CN 115051757 A, 2022.09.13

GB 201505439 D0, 2015.05.13

KR 20200073977 A, 2020.06.24

US 2004143842 A1, 2004.07.22

WO 2020201818 A1, 2020.10.08

WO 2021229471 A1, 2021.11.18

姚文明; 饶炯辉; 华良洪. 水下无线光通信自  
组织网性能分析. 光学与光电技术. 2013, (第06  
期), 57-61.

审查员 周书玉

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

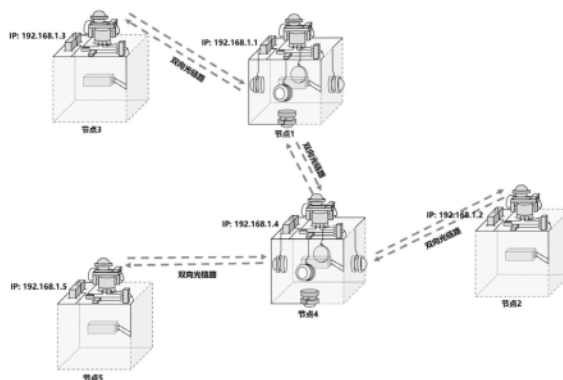
(54) 发明名称

一种水下多面体结构的无线光通信路由装  
置及方法

(57) 摘要

本发明属于水下无线光通信领域, 提出一种  
水下多面体结构的无线光通信路由装置及方法,  
该装置主要由光收发模块、通信控制模块、扫描  
通信模块和方位模块组成。该方法通过方位模块  
中的姿态传感器和水深传感器获取每一个光收发  
模块的方位信息, 通过多个光收发模块发送姿  
态信息与邻居建立通信连接, 并以此为基础实现  
基于强化学习方法的可靠路由。本发明可实现广  
范围、高连通性的水下无线光通信和节点间的高  
速动态组网, 可有效维护更新由节点摇摆、旋转、  
漂移导致的通信链路中断和路由信息失效; 同  
时, 本发明采用模块化设计, 每一个光收发模块  
相互分离, 能够满足不同的通信需求和组网场

景, 可以实现灵活扩展、按需部署并方便维修保  
养。



CN 115835065 B

1. 一种水下多面体结构的无线光通信路由装置,其特征在于,该水下多面体结构的无线光通信路由装置主要由光收发模块(1)、通信控制模块(2)、扫描通信模块和方位模块组成;

光收发模块(1)具有唯一的MAC地址,用于发送和接收光信号,其包括光接收器(1-1)、光发射器(1-2)、连接固定平台(1-3)和外壳(1-4);连接固定平台(1-3)包括底座和半球状顶部;底座侧面设有与通信控制模块(2)相连的水密接插件(6);外壳(1-4)为高透光率的半球状玻璃,其套于半球状顶部外侧,与底座固连;半球状顶部中心设置有光接收器(1-1),半球状顶部表面设有均匀分散的光发射器(1-2);光发射器(1-2)布置方向与底座顶面垂直或呈45度角;

通信控制模块(2)具有唯一的IP地址,用于与主机通信并控制光收发模块(1);通信控制模块(2)外壳侧面设有与光收发模块(1)相连的多个水密接插件(6),其外壳顶部设有与主机(9)相连的水密接插件(6);通信控制模块(2)通过水密接插件(6)单独控制与其相连接的每一个光收发模块(1)的光接收器(1-1)与光发射器(1-2)的开启关闭,以及光发射器(1-2)的功率亮度调节;

扫描通信模块用于实现全方位的光收发,其包括垂直旋转装置(3-1)、水平旋转装置(3-2)和固定底座(3-3);固定底座(3-3)上安装水平旋转装置(3-2),垂直旋转装置(3-1)贯穿安装于水平旋转装置(3-2)上;垂直旋转装置(3-1)的顶部中心设有底部相互平行放置的光收发模块(1)和姿态传感器a(3-4),通过零浮力防水线缆(7)分别与垂直旋转装置(3-1)两侧的水密接插件(6)相连;垂直旋转装置(3-1)两侧的水密接插件(6)分别与固定底座(3-3)上两侧的水密接插件(6)内部相通;固定底座(3-3)上一侧的水密接插件(6)是垂直旋转装置(3-1)顶部中心的光收发模块(1)的控制接口,通过零浮力防水线缆(7)与通信控制模块(2)相通;固定底座(3-3)上中间的水密接插件(6)是垂直旋转装置(3-1)和水平旋转装置(3-2)的控制接口,通过零浮力防水线缆(7)和方位模块相通;固定底座(3-3)上另一侧的水密接插件(6)是垂直旋转装置(3-1)顶部中心姿态传感器a(3-4)的控制接口,通过零浮力防水线缆(7)和方位模块相通;

方位模块用于解算光收发模块(1)的姿态和控制扫描通信模块的垂直旋转装置(3-1)与水平旋转装置(3-2)的转动;方位模块包括姿态传感器b(4-1)、水深传感器(4-2)和交换机(4-3);交换机(4-3)一侧设有多个水密接插件(6),通过零浮力防水线缆(7)分别与扫描通信模块的固定底座(3-3)、姿态传感器b(4-1)、水深传感器(4-2)相连接,另一侧的水密接插件(6)和主机(9)相连接。

2. 根据权利要求1所述的水下多面体结构的无线光通信路由装置,其特征在于,所述水下多面体结构的无线光通信路由装置与水下载体的装配方式如下:扫描通信模块固定在水下载体外壳(8)顶部正中心位置,通信控制模块(2)和方位模块固定在水下载体外壳(8)顶部;姿态传感器b(4-1)固定在水下载体外壳(8)顶部边的中点处,根据水下载体外壳(8)面数和通信需求选择不同数量的光收发模块(1)固定在水下载体外壳(8)侧面或底部的正中心位置。

3. 一种水下多面体结构的无线光通信路由方法,该方法使用权利要求1中的水下多面体结构的无线光通信路由装置,其特征在于,包括邻居发现、路由构建和路由更新;

邻居发现,用于节点寻找能够与自己直接通信的所有邻近节点;每个节点使用与通信

控制模块(2)相连接的所有光收发模块(1)发送包含该节点通信控制模块(2)的IP地址、当前发送信息的光收发模块(1)的MAC地址和通过方位模块获取的光收发模块(1)姿态信息的数据包;姿态信息包括航向角和俯仰角;当一个节点接收到邻近节点的数据包时,将邻近节点通信控制模块(2)的IP地址、光收发模块(1)的MAC地址和姿态信息储存在邻居表中;以邻近节点光收发模块(1)航向角、俯仰角的反方向为发送方向,节点向邻近节点回复包含自身的通信控制模块(2)的IP地址、接收到邻近节点数据包的光收发模块(1)的MAC地址和通过方位模块获取的光收发模块(1)姿态信息的数据包;节点与邻近节点发现过程结束,根据邻居表中的信息建立无线光链路;

路由建立用于建立到目的节点的路径;所有节点首先基于邻居表构建到达邻居节点的传输可靠性均为1的一跳路由信息,并将结果储存在路由表中;路由表中的路由信息包含目的IP地址、下一跳IP地址以及到目的节点的传输可靠性;当一个节点有数据向目的节点待传输时,从路由表中选取能够到达目的节点的所有邻居节点,之后在其中选取到目的节点传输可靠性最高的节点作为下一跳节点进行转发;当节点的邻居表中没有到目的节点的路由信息时,节点向邻居表中所有邻居节点广播包含源地址即节点通信控制模块(2)的IP地址和目的地址即目的节点的IP地址的路由请求数据包;当一个节点接收到邻居节点的路由请求数据包时,首先从路由请求数据包中学习到达源地址的路由信息,并将该路由信息更新到本地路由表中;当自身节点通信控制模块(2)的IP地址是目的地址,则向源地址单播路由回复数据包以更新源地址到目的地址的路由信息,否则把该路由请求数据包向邻居表中除转发该数据包到本节点外的所有邻居继续广播;节点根据从邻居节点接收到数据包的频率、数量和光收发模块(1)的航向角、俯仰角变化,基于强化学习算法学习到对应邻居节点的预期传输可靠性并更新到该邻居节点的路由信息中,同时更新路由表中所有以该邻居节点IP地址作为下一跳IP地址的传输可靠性,并向对应的目的IP地址节点发送反馈,迭代更新反馈路径上所有节点到该节点的传输可靠性,反馈路径上的节点将到前序节点的传输可靠性与前序节点到该节点的传输可靠性相乘并更新到路由信息中;在转发一定数量的数据包后,各节点到其他节点的路由信息逐步完善,对应的传输可靠性逐渐收敛稳定;路由表建立完成后,各节点根据路由表中的传输可靠性来选择最优路由;

路由更新用于维护更新路由表信息;所有节点已建立好有效的路由信息,即存有正确的邻居表和路由表;各节点定期向邻居表中的每个邻居节点发送连接状态确认消息,当节点或邻居节点因摇摆、旋转、漂移而无法建立通信时,则互相无法收到对方的连接状态确认消息,节点删除邻居表中无法建立通信的邻居节点,并删除路由表中通过该邻居到达其他节点的路由信息,同时向网络中广播路由错误消息,通知其他节点更新到达该邻居节点的路由信息;当节点邻居表中没有能够建立通信的邻居时,节点重新进行邻居发现过程,并更新邻居表和路由表中的一跳信息,当其他节点需要向该节点发送数据时,重新根据路由建立过程建立路由。

## 一种水下多面体结构的无线光通信路由装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水下无线光通信技术领域,尤其涉及一种水下多面体结构的无线光通信路由装置及方法。

### 背景技术

[0002] 目前,水下无线通信以水声传输为主,受声波带宽、多径效应、声学噪声等限制,水声传输具有速率低、延迟高等局限性,致使水下网络在大容量数据传输方面存在速率瓶颈难题。水下无线光通信以可见光作为载波通信,比水声通信和水下电磁波通信具有更高的带宽和更好的保密性等优势,可为实时、高速的近距离水下无线通信提供强大的技术支撑。

[0003] 已有的水下无线光通信方案多为点对点通信,并主要集中在降低发射光束失准对系统性能的影响(专利公开号:CN114070418A,CN114142944A)、提高传输距离与覆盖范围(专利公开号:CN216291518U,CN110971308A)和抗干扰(专利公开号:CN110995357A,CN216122433U)等方面。尚无可用于水下无线网络的光通信装置,同时复杂的水下无线光信道特性、光束指向性、节点移动性等对基于无线光通信技术的水下组网带来很大挑战,导致水下无线光通信的应用范围始终受限。若能突破这一瓶颈,实现水下无线光网络,不仅能够通过多跳中继的方式弥补无线光通信距离受限的弊端,充分发挥其高速率的特点,还将会极大拓宽水下无线光通信的应用领域。因此,亟需一种用于水下无线网络的无线光通信路由装置及方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的技术目的是提供一种水下多面体结构的无线光通信路由装置和方法。

[0005] 本发明的技术方案:一种水下多面体结构的无线光通信路由装置,主要由光收发模块1、通信控制模块2、扫描通信模块和方位模块组成;

[0006] 光收发模块1具有唯一的MAC地址,用于发送和接收光信号,其包括光接收器1-1、光发射器1-2、连接固定平台1-3和外壳1-4;连接固定平台1-3包括底座和半球状顶部;底座侧面设有与通信控制模块2相连的水密接插件6;外壳1-4为高透光率的半球状玻璃,其套于半球状顶部外侧,与底座固连;半球状顶部中心设置有光接收器1-1,半球状顶部表面设有均匀分散的光发射器1-2;光发射器1-2布置方向与底座顶面垂直或呈45度角;

[0007] 通信控制模块2具有唯一的IP地址,用于与主机通信并控制光收发模块1;通信控制模块2外壳侧面设有与光收发模块1相连的多个水密接插件6,其外壳顶部设有与主机9相连的水密接插件6;通信控制模块2通过水密接插件6单独控制与其相连接的每一个光收发模块1的光接收器1-1与光发射器1-2的开启关闭,以及光发射器1-2的功率亮度调节;

[0008] 扫描通信模块用于实现全方位的光收发,其包括垂直旋转装置3-1、水平旋转装置3-2和固定底座3-3;固定底座3-3上安装水平旋转装置3-2,垂直旋转装置3-1贯穿安装于水平旋转装置3-2上;垂直旋转装置3-1的顶部中心设有底部相互平行放置的光收发模块1和姿态传感器a3-4,通过零浮力防水线缆7分别与垂直旋转装置3-1两侧的水密接插件6相连;

垂直旋转装置3-1两侧的水密接插件6分别与固定底座3-3上两侧的水密接插件6内部相连接;固定底座3-3上一侧的水密接插件6是垂直旋转装置3-1顶部中心的光收发模块1的控制接口,通过零浮力防水线缆7与通信控制模块2相连接;固定底座3-3上中间的水密接插件6是垂直旋转装置3-1和水平旋转装置3-2的控制接口,通过零浮力防水线缆7和方位模块相连接;固定底座3-3上另一侧的水密接插件6是垂直旋转装置3-1顶部中心姿态传感器a3-4的控制接口,通过零浮力防水线缆7和方位模块相连接;

[0009] 方位模块用于解算光收发模块1的姿态和控制扫描通信模块的垂直旋转装置3-1与水平旋转装置3-2的转动;方位模块包括姿态传感器b4-1、水深传感器4-2和交换机4-3;交换机4-3一侧设有多个水密接插件6,通过零浮力防水线缆7分别与扫描通信模块的固定底座3-3、姿态传感器b4-1、水深传感器4-2相连接,另一侧的水密接插件6和主机9相连接。

[0010] 所述水下多面体结构的无线光通信路由装置与水下载体的装配方式如下:扫描通信模块固定在水下载体外壳8顶部正中心位置,通信控制模块2和方位模块固定在水下载体外壳8顶部;姿态传感器b4-1固定在水下载体外壳8顶部边的中点处,根据水下载体外壳8面数和通信需求选择不同数量的光收发模块1固定在水下载体外壳8侧面或底部的正中心位置。

[0011] 一种水下多面体结构的无线光通信路由方法,包括邻居发现、路由构建和路由更新;

[0012] 邻居发现,用于节点寻找能够与自己直接通信的所有邻近节点;每个节点使用与通信控制模块2相连接的所有光收发模块1发送包含该节点通信控制模块2的IP地址、当前发送信息的光收发模块1的MAC地址和通过方位模块获取的光收发模块1姿态信息的数据包;姿态信息包括航向角和俯仰角;当一个节点接收到邻近节点的数据包时,将邻近节点通信控制模块2的IP地址、光收发模块1的MAC地址和姿态信息储存在邻居表中;以邻近节点光收发模块1航向角、俯仰角的反方向为发送方向,节点向邻近节点回复包含自身的通信控制模块2的IP地址、接收到邻近节点数据包的光收发模块1的MAC地址和通过方位模块获取的光收发模块1姿态信息的数据包;节点与邻近节点发现过程结束,根据邻居表中的信息建立无线光链路;

[0013] 路由建立用于建立到目的节点的路径;所有节点首先基于邻居表构建到达邻居节点的传输可靠性均为1的一跳路由信息,并将结果储存在路由表中;路由表中的路由信息包含目的IP地址、下一跳IP地址以及到目的节点的传输可靠性;当一个节点有数据向目的节点待传输时,从路由表中选取能够到达目的节点的所有邻居节点,之后在其中选取到目的节点传输可靠性最高的节点作为下一跳节点进行转发;当节点的邻居表中没有到目的节点的路由信息时,节点向邻居表中所有邻居节点广播包含源地址即节点通信控制模块2的IP地址和目的地址即目的节点的IP地址的路由请求数据包;当一个节点接收到邻居节点的路由请求数据包时,首先从路由请求数据包中学习到达源地址的路由信息,并将该路由信息更新到本地路由表中;当自身节点通信控制模块2的IP地址是目的地址,则向源地址单播路由回复数据包以更新源地址到目的地址的路由信息,否则把该路由请求数据包向邻居表中除转发该数据包到本节点外的所有邻居继续广播;节点根据从邻居节点接收到数据包的频率、数量和光收发模块1的航向角、俯仰角变化,基于强化学习算法学习到对应邻居节点的预期传输可靠性并更新到该邻居节点的路由信息中,同时更新路由表中所有以该邻居节点

IP地址作为下一跳IP地址的传输可靠性,并向对应的目的IP地址节点发送反馈,迭代更新反馈路径上所有节点到该节点的传输可靠性,反馈路径上的节点将到前序节点的传输可靠性与前序节点到该节点的传输可靠性相乘并更新到路由信息中;在转发一定数量的数据包后,各节点到其他节点的路由信息逐步完善,对应的传输可靠性逐渐收敛稳定;路由表建立完成后,各节点根据路由表中的传输可靠性来选择最优路由;

[0014] 路由更新用于维护更新路由表信息;所有节点已建立好有效的路由信息,即存有正确的邻居表和路由表;各节点定期向邻居表中的每个邻居节点发送连接状态确认消息,当节点或邻居节点因摇摆、旋转、漂移而无法建立通信时,则互相无法收到对方的连接状态确认消息,节点删除邻居表中无法建立通信的邻居节点,并删除路由表中通过该邻居到达其他节点的路由信息,同时向网络中广播路由错误消息,通知其他节点更新到达该邻居节点的路由信息;当节点邻居表中没有能够建立通信的邻居时,节点重新进行邻居发现过程,并更新邻居表和路由表中的一跳信息,当其他节点需要向该节点发送数据时,重新根据路由建立过程建立路由。

[0015] 本发明的有益效果:

[0016] 1)通过本发明提供的水下多面体结构的无线光通信路由装置和路由方法,可以实现可靠的水下无线光网络;

[0017] 2)通信控制模块能够接入不同数量的光收发模块,每一个光收发模块相互分离并可以单独控制和灵活部署,能够满足不同的通信需求和组网场景;

[0018] 3)通过多面体部署的多个光收发模块和扫描通信模块,可实现广范围、高连通性的水下无线光通信,避免了通过水下载体移动进行光通信对准的需求;

[0019] 4)光收发模块上分布的光发射器能够实现平面全向覆盖,光发射器的功率亮度可调节,并在不通信时关闭,降低了光收发模块间的干扰并节省了能耗;

[0020] 5)装置采用模块化设置,通过可插拔的水密接插件连接,有利于装置扩展、按需部署并方便维修保养;

[0021] 6)路由方法中通过发送方位模块获取的光收发模块方位信息与邻居节点建立通信连接,与通过定位设备获取节点位置信息来建立通信连接的方式相比,具有成本低、光收发模块之间对准精度高等优势;

[0022] 7)路由方法可以对节点摇摆、旋转、漂移导致的光通信链路中断和路由失效进行维护更新。

## 附图说明

[0023] 图1为本发明一种水下多面体结构的无线光通信路由装置示意图;

[0024] 图2为本发明一种水下多面体结构的无线光通信路由装置中光收发模块的局部剖切正视图;

[0025] 图3为本发明一种水下多面体结构的无线光通信路由装置中光收发模块的局部剖切俯视图;

[0026] 图4为本发明一种水下多面体结构的无线光通信路由装置中光收发模块的局部剖切侧视图;

[0027] 图5为本发明一种水下多面体结构的无线光通信路由装置在六面体水下载体上装

配示意图；

[0028] 图6为本发明实施例提供的多个装配水下多面体结构的无线光通信路由装置节点的路由示意图。

[0029] 图中:1为光收发模块,1-1为光接收器,1-2为光发射器,1-3为连接固定平台,1-4为外壳;2为通信控制模块;3-1为垂直旋转装置,3-2为水平旋转装置,3-3为固定底座,3-4为姿态传感器a;4-1为姿态传感器b;4-2为水深传感器,4-3为交换机;5为螺丝安装孔;6为水密接插件;7为零浮力防水线缆;8为水下载体外壳;9为主机。

### 具体实施方式

[0030] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚,完整的描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部实施例。基于本发明中的实施例,本领域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。

[0031] 由图1可见,本发明水下多面体结构的无线光通信路由装置主要由光收发模块1、通信控制模块2、扫描通信模块和方位模块组成。通信控制模块2外壳侧面设有与光收发模块1相连的多个水密接插件6,其外壳顶部设有与主机9相连的水密接插件6。扫描通信模块包括垂直旋转装置3-1、水平旋转装置3-2和固定底座3-3;固定底座3-3上安装水平旋转装置3-2,垂直旋转装置3-1贯穿安装于水平旋转装置3-2上;垂直旋转装置3-1的顶部中心设有底部相互平行放置的光收发模块1和姿态传感器a3-4,通过零浮力防水线缆7分别与垂直旋转装置3-1两侧的水密接插件6相连;垂直旋转装置3-1两侧的水密接插件6分别与固定底座3-3上两侧的水密接插件6内部相通;固定底座3-3上一侧的水密接插件6是垂直旋转装置3-1顶部中心的光收发模块1的控制接口,通过零浮力防水线缆7与通信控制模块2相连接;固定底座3-3上中间的水密接插件6是垂直旋转装置3-1和水平旋转装置3-2的控制接口,通过零浮力防水线缆7和方位模块相连接;固定底座3-3上另一侧的水密接插件6是垂直旋转装置3-1顶部中心姿态传感器a3-4的控制接口,通过零浮力防水线缆7和方位模块相连接。方位模块包括姿态传感器b4-1、水深传感器4-2和交换机4-3;交换机4-3一侧设有多个水密接插件6,通过零浮力防水线缆7分别与扫描通信模块的固定底座3-3、姿态传感器b4-1、水深传感器4-2相连接,另一侧的水密接插件6和主机9相连接。

[0032] 由图2-图4可见,光收发模块1包括光接收器1-1、光发射器1-2、连接固定平台1-3和外壳1-4;连接固定平台1-3包括底座和半球状顶部;底座侧面设有与通信控制模块2相连的水密接插件6;外壳1-4为高透光率的半球状玻璃,其套于半球状顶部外侧,通过外壳1-4上的螺丝安装孔5与底座固连;半球状顶部中心设置有光接收器1-1,半球状顶部表面设有均匀分散的光发射器1-2;光发射器1-2布置方向与底座顶面垂直或呈45度角。

[0033] 由图5可见,水下多面体结构的无线光通信路由装置与六面体水下载体的装配方式如下:扫描通信模块固定在水下载体外壳8顶部正中心位置,通信控制模块2和方位模块固定在水下载体外壳8顶部;姿态传感器4-1固定在水下载体外壳8顶部边的中点处;5个光收发模块1固定在水下载体外壳8侧面或底部的正中心位置;所有模块器件之间通过水密接插件6和沿水下载体外壳8走线的零浮力防水线缆7连接。

[0034] 由图6可见,5个节点根据通信需求选择并装配了水下多面体结构的无线光通信路



由装置,其中,2个节点装配的水下多面体结构的无线光通信路由装置带有6个光收发模块,3个节点装配的水下多面体结构的无线光通信路由装置带有1个光收发模块;利用上述水下多面体结构的无线光通信路由装置实现图6所示的节点之间路由的具体步骤如下:

[0035] S1:邻居发现,节点寻找能够与自己直接通信的所有邻近节点,并将结果储存在邻居表中,图6中节点间邻居发现的步骤如下(以节点4和节点5为例):

[0036] S11:节点都保存一张初始为空的邻居表,邻居表中包含邻居节点通信控制模块2的IP地址、光收发模块1的MAC地址和姿态信息,姿态信息包括航向角和俯仰角;

[0037] S12:节点4使用与通信控制模块2相连接的6个光收发模块1广播包含该节点通信控制模块2的IP地址192.168.1.4、当前发送信息的光收发模块1的MAC地址、通过方位模块获取的光收发模块1姿态信息的数据包;

[0038] S13:当节点5接收到邻近节点4的数据包时,将邻近节点4通信控制模块2的IP地址192.168.1.4、光收发模块1的MAC地址和姿态信息储存在邻居表中;以邻近节点4光收发模块1航向角、俯仰角的反方向为发送方向,节点5向邻近节点4回复包含自身的通信控制模块2的IP地址192.168.1.5、接收到邻近节点4的数据包的光收发模块1的MAC地址和通过方位模块获取的光收发模块1姿态信息的数据包;

[0039] S14:节点与邻居节点发现过程结束,根据邻居表中的信息建立无线光链路。

[0040] S2:路由构建,图6中的节点在进行数据传输时,基于强化学习方法建立路由表,并根据路由表进行节点之间的中继数据传输,5个节点之间构建好的路由信息如图6所示,节点2到节点5路由构建的步骤如下:

[0041] S21:节点都保存一张路由表,路由表中包含目的IP地址、下一跳IP地址和到目的节点的传输可靠性;所有节点基于邻居表构建到达其他邻居节点的传输可靠性均为1的一跳路由信息,并将结果储存在路由表;节点2的路由表增加了1条目的IP地址和下一跳IP地址均为192.168.1.4的路由信息,节点4的路由表增加了3条目的IP地址和下一跳IP地址分别为192.168.1.1、192.168.1.2和192.168.1.5的路由信息,节点5的路由表增加了1条目的IP地址和下一跳IP地址均为192.168.1.4的路由信息;

[0042] S22:当节点2有数据向目的节点5待传输时,从路由表中选取能够到达目的节点的所有邻居节点,之后在其中选取到目的节点传输可靠性最高的节点作为下一跳节点进行转发;

[0043] S23:节点2的邻居表没有到目的节点5路由信息时,节点2向邻居表中的邻居节点4广播包含源地址192.168.1.2和目的地址192.168.1.5的路由请求数据包;

[0044] S24:当节点4接收到邻居节点2的路由请求数据包时,首先从路由请求数据包中学习到达源地址192.168.1.2的路由信息,并将该路由信息即目的IP地址192.168.1.2和下一跳IP地址192.168.1.2更新到本地路由表中,并把该路由请求数据包通过邻居表中除转发该数据包到本节点外的邻居节点1和邻居节点5继续广播;

[0045] S25:当节点5接收到邻居节点4转发的路由请求数据包时,首先从路由请求数据包中学习到达源地址192.168.1.2的路由信息,并将该路由信息即目的IP地址192.168.1.2和下一跳IP地址192.168.1.4更新到本地路由表中,节点5通信控制模块2的IP地址192.168.1.5是路由请求数据包中的目的地址,向源地址192.168.1.2单播路由回复数据包以更新源地址处的路由信息;



[0046] S26: 节点2根据从邻居节点4接收到数据包的频率、数量和光收发模块1的航向角、俯仰角变化,基于强化学习算法学习到邻居节点4的预期传输可靠性并更新到邻居节点4的路由信息中,同时更新路由表中所有以邻居节点4IP地址作为下一跳IP地址的传输可靠性,即更新到目的IP地址192.168.1.1、192.168.1.3和192.168.1.5的传输可靠性,并向这些目的IP地址节点发送反馈,迭代更新反馈路径上所有节点到该节点的传输可靠性,反馈路径上的节点将到前序节点的传输可靠性与前序节点到该节点的传输可靠性相乘并更新到路由信息中,即节点1到节点2的传输可靠性更新为到前序节点4的传输可靠性乘前序节点4到节点2的传输可靠性,节点3到节点2的传输可靠性更新为到前序节点1的传输可靠性乘前序节点1到节点2的传输可靠性,节点5到节点2的传输可靠性更新为到前序节点4的传输可靠性乘前序节点4到节点2的传输可靠性;

[0047] S27:在转发一定数量的数据包后,各节点中的路由信息逐步完善,对应的连通可靠性逐渐收敛到稳定值;路由表建立完成后,各节点根据路由表中的连通可靠性来选择最优路由;

[0048] S3:路由维护,当节点摇摆、旋转、漂移等导致通信链路中断时,采用如下步骤动态维护更新各节点的路由信息:

[0049] S31:各节点已建立好有效的组网路由,即存有正确的邻居表和路由表;各节点定期向邻居表中的每个邻居节点发送连接状态确认消息,当节点或邻居节点无法建立通信时,则互相无法收到对方的连接状态确认消息并将对方的连接状态置为无效;

[0050] S32:各节点删除邻居表中连接状态为无效的条目,并删除路由表中连接状态无效的邻居对应的IP地址条目,同时向网络中广播路由错误消息,通知其他节点更新到达该邻居节点的路由信息;

[0051] S33:当节点邻居表中没有能够建立通信的邻居时,节点重新进行邻居发现过程,并更新邻居表和路由表中的一跳信息,当其他节点需要向该节点发送数据时,重新根据路由建立过程建立路由。

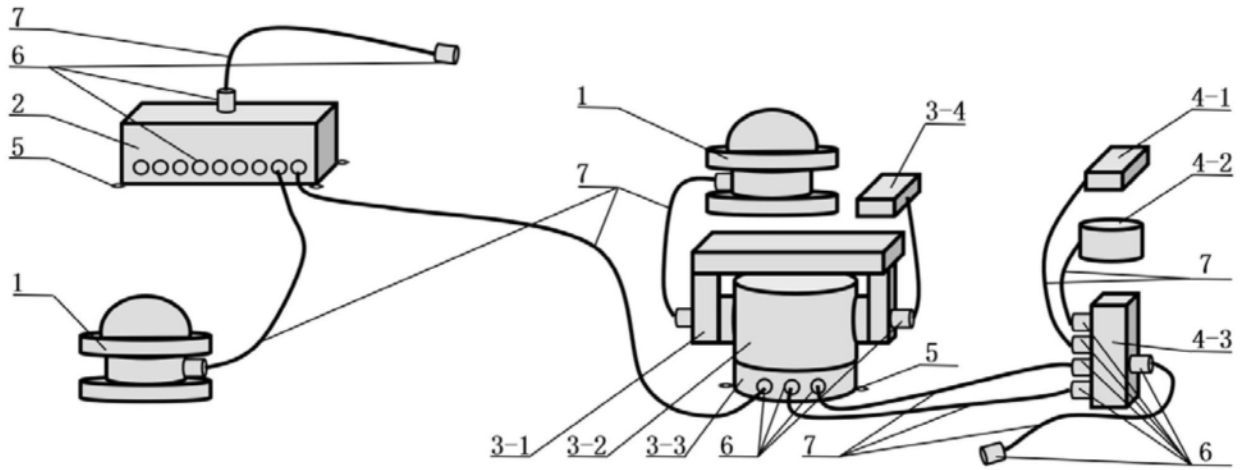


图1

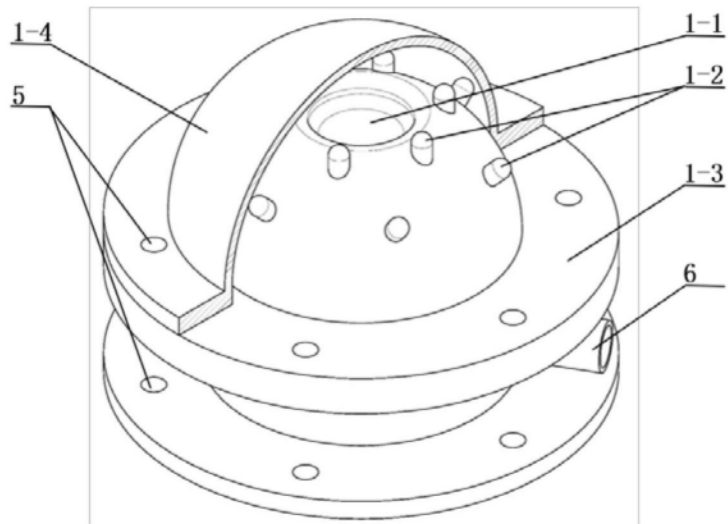


图2

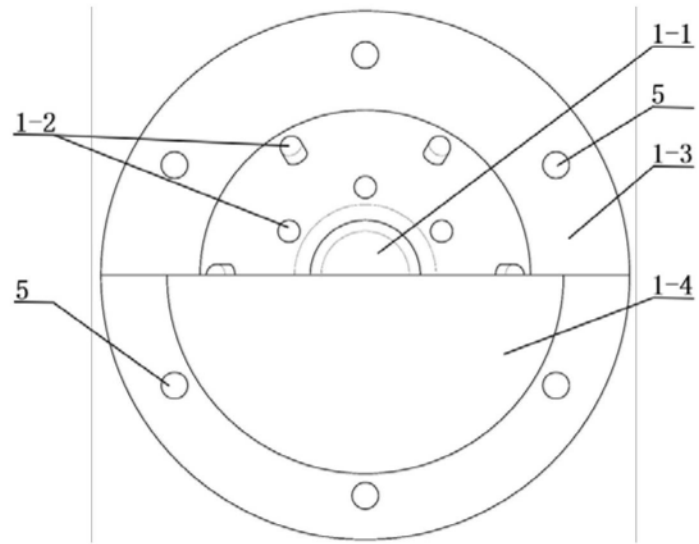


图3

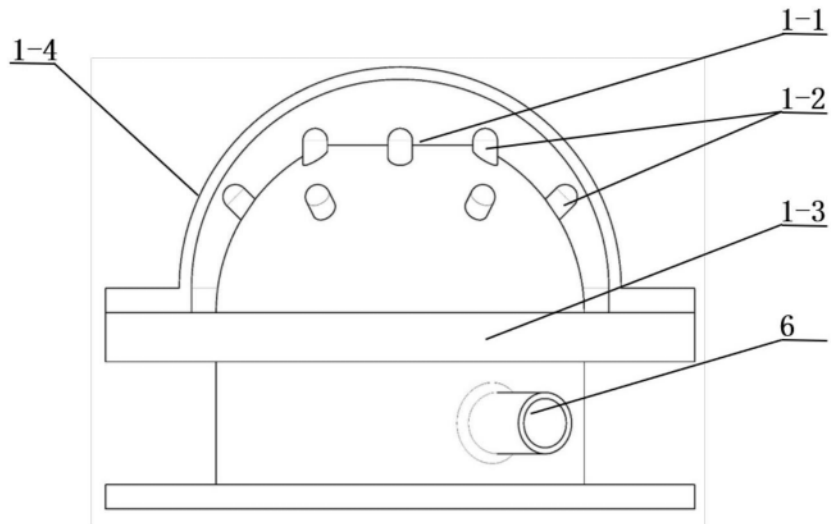


图4

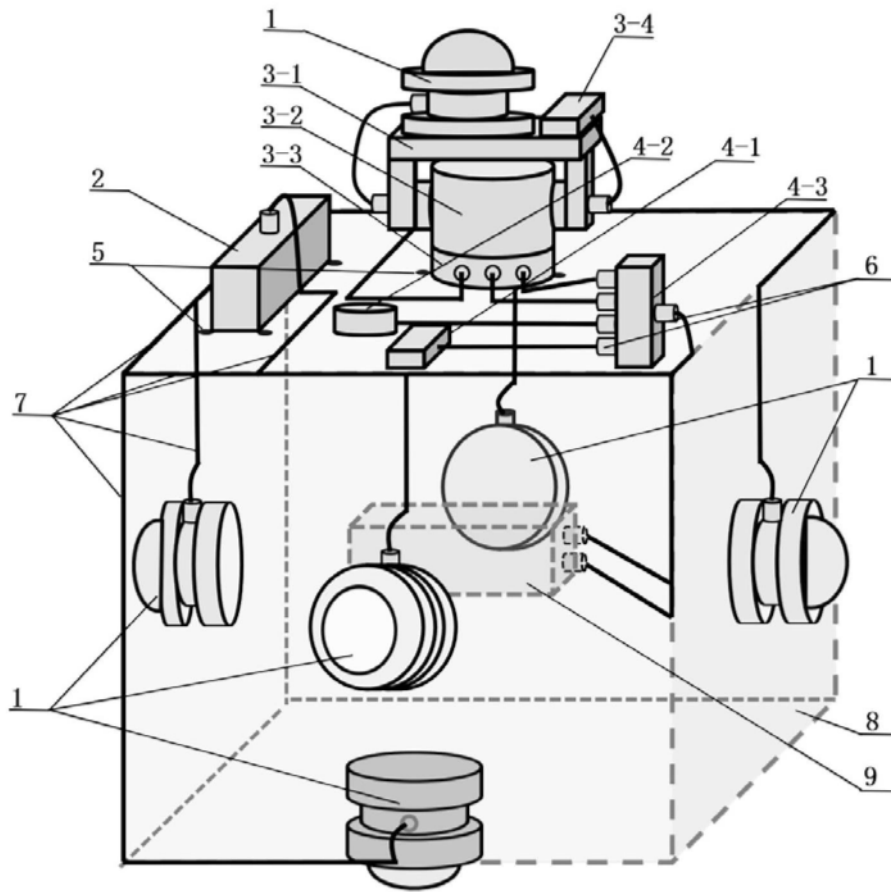


图5

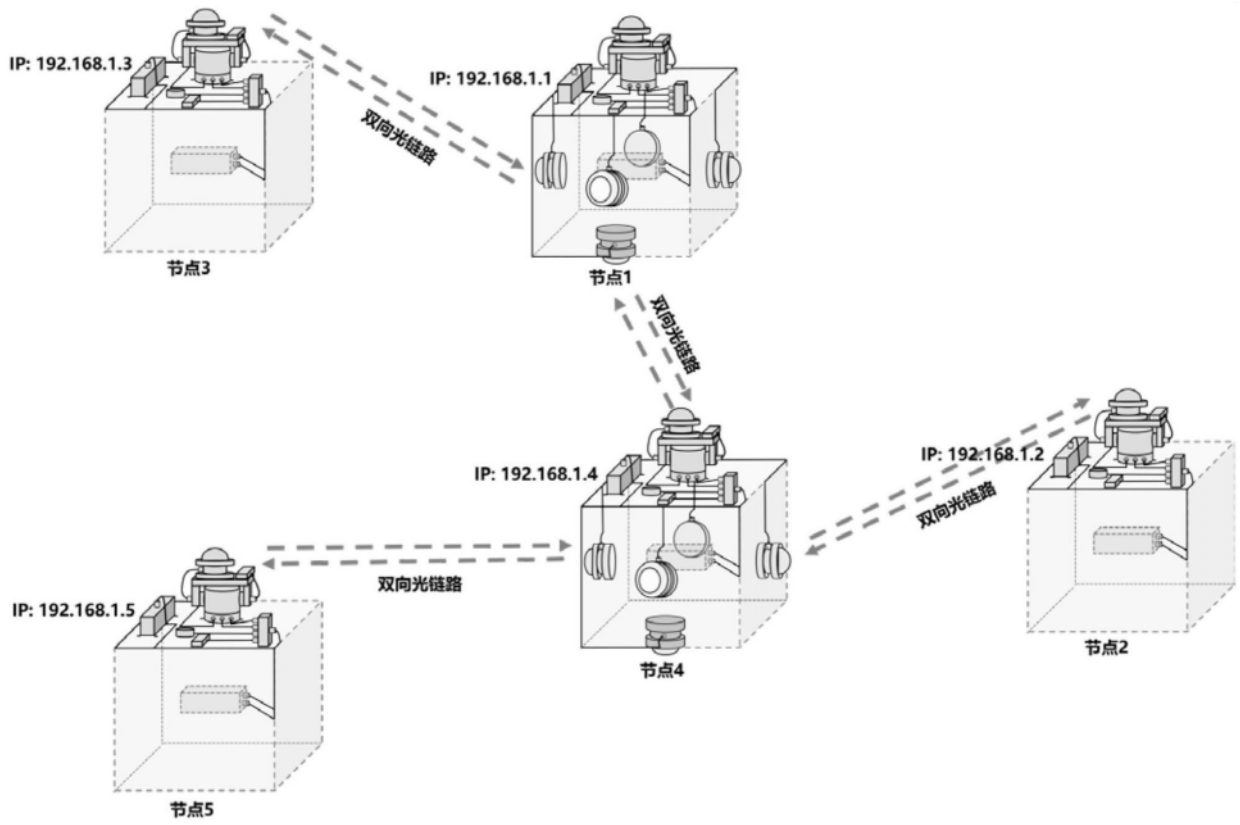


图6