



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112423356 A

(43) 申请公布日 2021.02.26

(21) 申请号 202011171479.7

(22) 申请日 2020.10.28

(71) 申请人 大连交通大学

地址 116028 辽宁省大连市沙河口区黄河路794号

(72) 发明人 王运明 张硕 初宪武

(74) 专利代理机构 大连智高专利事务所(特殊普通合伙) 21235

代理人 盖小静

(51) Int. Cl.

H04W 40/10 (2009.01)

H04W 40/24 (2009.01)

权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,包括:建立单个无人装备的网络通信交互能量模型,获取单个无人装备的剩余能量;通过路径中所有无人装备的剩余能量之和来作为选择路径的依据,修改传输过程中的数据包,将所述剩余能量代入数据包的标志位;根据所述标志位选择数据传输路径。本申请对无人装备集群网络路由算法进行了改进,降低了无人装备之间传输数据的时延,减少了无人装备集群网络中路由发现的频率,延长了整体网络的存活寿命,优化网络性能,使无人装备之间的数据传输更加可靠。

1. 基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,包括:

建立单个无人装备的网络通信交互能量模型,获取单个无人装备的剩余能量;

通过路径中所有无人装备的剩余能量之和来作为选择路径的依据,修改传输过程中的数据包,将所述剩余能量代入数据包的标志位;

根据所述标志位选择数据传输路径。

2. 根据权利要求1所述基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,建立单个无人装备的网络通信交互能量模型,具体为:在无人装备集群网络中,各个无人装备的能耗包括内核耗能和通信耗能,所述内核耗能是无人装备维持自身移动、存活以及完成其他任务的耗能;所述通信耗能是无人装备之间互相传输数据所消耗的能量,其包括发送数据耗能和接收数据耗能。

3. 根据权利要求2所述基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,所述发送数据耗能和接收数据耗能获得的方式为:

先获取节点的发射功率:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

其中, $P_r$ 为接收到的信号功率, $P_t$ 为发射功率, $G_t$ 为发射天线增益, $G_r$ 为接收天线增益, $\lambda$ 为波长, $L$ 为与传播无关的损耗, $d$ 为发射端与接收端的距离;

若常量均用 $c$ 表示,则发射功率公式变为 $P_t = cd^2$ ,其中 $c = \frac{P_r(d)(4\pi)^2 L}{G_t G_r \lambda^2}$ ;

再获取发送数据耗能:由能量与功率关系 $W = P_t t$ 得,无人装备发送数据的功耗为 $W = cd^2 t$ ,传输时间 $t$ 由发送速率和缓存长度计算得知,其计算公式为 $t = \frac{q_s}{v}$ ;其中, $q_s$ 为缓存区待发数据长度, $v$ 为设定的发送数据的速率,为常量,理想耗能为 $W = cd^2 q_s$ ;

最后获取接收数据耗能:所述接收数据耗能与所接收的数据长度和无人装备发送数据的电路功率设置有关,即 $W_r = q_r E_{elec}$ ,其中, $q_r$ 为待发数据长度, $E_{elec}$ 为发送每比特数据电路消耗的能量,为常量。

4. 根据权利要求2所述基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,所述内核耗能为维持无人装备个体运行不断消耗的,内核能耗 $W_k$ 为:

$$W_k = P_k t \quad (2)$$

其中, $P_k$ 为无人装备机体耗能功率, $t$ 为无人装备的工作时长。

5. 根据权利要求3或4所述基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,获取单个无人装备的剩余能量为 $W_{surplus} = W_{full} - W$ ,其中 $W_{full}$ 满电的电量, $W$ 为总耗能,所述总耗能=内核耗能+通信耗能,公式为:

$$W = P_k t + cd^2 q_s + q_r E_{elec} \quad (3)$$

$$\text{故 } W_{surplus} = W_{full} - [W = P_k t + cd^2 q_s + q_r E_{elec}] \quad (4)$$

6. 根据权利要求1所述基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,在无人装备集群网络中,各个无人装备之间通信满足下列条件:

a) 通信链路均为双向;

- b) 每个无人装备的发射功率能进行动态调节;
- c) 每个无人装备均由电池供能,总能量有限且相同;
- d) 每个无人装备都配有GPS/北斗定位模块。

7. 根据权利要求6所述基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,通过路径中所有无人装备的剩余能量之和来作为选择路径的依据,修改传输过程中的数据包,将所述剩余能量代入数据包的标志位;具体为:

路由发现过程中,在RREQ包中加入两个8Bit的新字段,用于存放路径中所有节点的剩余能量之和以及缓冲区数据长度;

路由维护过程中,在Hello数据包中加入1Bit的能量标志位,若节点剩余能量 $E_s$ 小于电池自身容量的一定比例,则将标志位置0;

在路由表中加入一个8Bit的新字段,用于记录某一传输路径中所有节点的剩余能量之和,以此作为路由选择的判据。

8. 根据权利要求1所述基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,其特征在于,所述根据所述标志位选择数据传输路径,具体包括:

a) 路由发现的步骤:某个无人装备需要向另一无人装备发送数据时,首先查找当前维护的路由表,如果存在能使用的有效路径,则选择该路径进行数据传输,若未找到能到达目的无人装备的有效路径,则开始路由发现,具体过程如下:

①源无人装备向邻居节点广播RREQ报文;

②当某无人装备接收到RREQ报文时,首先检测报文中的序号,看自身是否接受过此报文;若接收过,则丢弃此报文;若未接收过,则判断自身是否是目的节点;

③若自身是需接受数据的无人装备,则跳至步骤⑥;并将RREQ包的传播路径更新至自身路由表中,记录RREQ包中的剩余能量标志位至自身路由表,以此作为选择路径凭据;

④若自身不是需接受数据的无人装备,首先查询自身路由表中是否存在能到达需接受数据的无人装备的传输路径,若存在,则跳至步骤⑥;若不存在,则先提取所需要的参数,之后代入网络通信交互能量模型中,将计算结果加入RREQ包中的剩余能量标志位,并将自身链路层的缓冲区数据长度写入相应的标志位,根据自身的剩余能量以一定概率转发此报文至周边节点;

⑤重复步骤③④⑤,直至需接受数据的无人装备接收到此报文;

⑥需接受数据的无人装备按照RREQ包的传输路径回复RREP包,并将RREQ包的传播路径更新至自身路由表中,并更新剩余能量标志位,反应整个数据传输路径的剩余能量情况;

⑦源无人装备接收到RREP包,建立起数据传输的路径,并将该路径维护至自身路由表中;

⑧若存在多跳路径,则选择路径中所有节点的剩余能量之和最高的路径进行传输;

b) 路由维护的步骤:EAODV协议中,各无人装备在没有数据传输任务时周期广播Hello报文,相邻无人装备根据在规定时间内能否接收到Hello报文判断数据传输路径是否存在,Hello报文只广播给相邻无人装备,跳数为1,无人装备每隔周期时间更新相邻无人装备信息,具体过程如下:

各无人装备根据其相邻无人装备所发送的Hello数据包中的能量标识位来得知相邻无

人装备能量剩余情况,并向相邻无人装备通知自身剩余能量情况;

当某个无人装备的剩余能量比较充足时,无人装备向相邻无人装备发送Hello数据包中的能量标识位置1,显示自身的剩余能量充沛,能完成数据传输任务;

当某个无人装备的剩余能量低到某个阈值时,将自身所发送Hello数据包中的能量标识位置0,通知相邻无人装备自身剩余能量已无法完成数据传输任务;

某个无人装备接收到的Hello数据包中的能量标识位为1时,此路径能正常完成数据传输任务;若某个无人装备没有在规定时间内收到相邻无人装备发送来的Hello数据包,则启动路由恢复过程,修复路由;

某个无人装备接收到的Hello数据包中的能量标识位为0,则判定此无人装备剩余能量过低不允许被继续作为中继节点使用,则直接跳过路由恢复过程,启动中断更新策略重新发现路由。

## 基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无人集群控制学领域,具体说是一种基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法。

### 背景技术

[0002] 移动Ad Hoc网络由一群移动节点临时组成的无中心、自组织、多跳的分布式网络,可以为作战人员和各武器平台提供灵活机动的通信能力,正逐渐在信息化武器装备上发挥着巨大的作用。无人装备集群网络作为典型无线自组网络,在侦察、探测、中继通信等应用领域的作用越来越突出,由于无人集群网络不需要固定基站,具有架设简单快速,使用方便的优点,已被广泛应用于军事、自然灾害的紧急救援等特殊领域。然而,无人装备集群具有节点能量受限,移动速度快,拓扑结构变化频繁以及断链率高等特点,这些特征对无人装备集群路由协议的性能产生了较大影响。因此,研究一种适用于无人集群网络的路由算法具有重要的理论意义和应用价值。但是,目前已有的被应用于无人集群网络的路由算法有一定的局限性,网络中节点的能量消耗存在不平等的问题。

[0003] 已有的研究表明多个种类的无人集群网络均具有相似的特性。故在研究无人集群网络应考虑以下特性:

[0004] 节点高移动性:由于网络中节点的移动速度很快,并且能够在三维空间进行移动,网络拓扑结构变化迅速;同时,由于没有固定的中信节点,无人集群网络的组网形式灵活,所有节点可以随时进入或退出当前网络,节点的入网退网不会影响其他节点收发数据。无人装备集群的高移动性将导致会使网络中已建立的路由链路经常被破坏,进而导致整条路由必须重建。

[0005] 竞争信道资源:在无人集群网络中,由于不存在固定的网络基站与网络架构,所有节点均通过广播的方式进行数据传输,与有线信道相比,其带宽受限,容量较低,在通信时,信号碰撞,噪声干扰等因素都是必要的考虑问题。因此,在无人集群的运动场景下,其能使用的通信带宽会比理论计算出的带宽小很多,网络中经常会产生拥塞问题。同时,当同一时间有多个节点需要发送数据时,所有节点通过竞争的方式接入共享信道资源,链路的传输带宽有限,因此会导致无人集群通信网络出现信道分配不平衡的现象,使一些节点出现饿死现象。

[0006] 多跳通信:多跳通信的主要特点是把传统意义下的直接传输路径分成多个短小的路径来传递信源信息的,多跳传输与传统单跳传输相比具有降低系统的发送功率、延伸覆盖和提高系统的容量及吞吐量等特点。在无人集群网络中,各个节点的通信范围都是有限的,当节点需要与超出通信范围的节点建立连接时,一般会选取当前通信范围内的节点作为中继节点,通过多个中继节点转发数据的方式与目标节点建立连接,这就被称为是无人集群网络的多跳通信。无人集群网络中,由于需要通过部分中继节点来承担更多的数据转发任务,造成网络中节点的能量消耗存在不平等的问题。

[0007] 无人集群网络结构以无人机为例拓扑图如图1所示,通信方式如图2所示;AODV协

议是无人集群网络主要采用的路由协议。然而,AODV路由协议在无人装备集群网络通信交互中还存在着一些不足:在建立路径时,采用最短路径的选路原则,建立反向路径时只接受并处理第一个到达的消息,没有考虑节点能量消耗的公平性;AODV路由协议的中断策略,除非已建好的链路发生中断,否则将会一直使用该路由传输数据,导致网络某些节点耗能过快,过早死亡。

## 发明内容

[0008] 鉴于现有无人集群网络并未考虑节点的剩余能量与节点缓冲区队列长度等情况,从而导致某些节点在通信过程中由于能量耗尽而过早死亡,故本申请提出一种基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,以延长网络寿命,保证通信质量。

[0009] 为实现上述目的,本申请的技术方案为:基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,包括:

[0010] 建立单个无人装备的网络通信交互能量模型,获取单个无人装备的剩余能量;

[0011] 通过路径中所有无人装备的剩余能量之和来作为选择路径的依据,修改传输过程中的数据包,将所述剩余能量代入数据包的标志位;

[0012] 根据所述标志位选择数据传输路径。

[0013] 进一步的,建立单个无人装备的网络通信交互能量模型,具体为:

[0014] 在无人装备集群网络中,各个无人装备的能耗包括内核耗能和通信耗能,所述内核耗能是无人装备维持自身移动、存活以及完成其他任务的耗能,通过节点存活时间与自身消耗功率计算得知;所述通信耗能是无人装备之间互相传输数据所消耗的能量,其包括发送数据耗能和接收数据耗能。

[0015] 进一步的,所述发送数据耗能和接收数据耗能获得的方式为:

[0016] 先获取节点的发射功率:

$$[0017] \quad P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

[0018] 其中, $P_r$ 为接收到的信号功率, $P_t$ 为发射功率, $G_t$ 为发射天线增益, $G_r$ 为接收天线增益, $\lambda$ 为波长, $L$ 为与传播无关的损耗, $d$ 为发射端与接收端的距离;

[0019] 若常量均用 $c$ 表示,则发射功率公式变为 $P_t = cd^2$ ,其中 $c = \frac{P_r(d)(4\pi)^2 L}{G_t G_r \lambda^2}$ ;

[0020] 再获取发送数据耗能:由能量与功率关系 $W = P_t t$ 得,无人装备发送数据的功耗为 $W = cd^2 t$ ,传输时间 $t$ 由发送速率和缓存长度计算得知,其计算公式为 $t = \frac{q_s}{v}$ ;其中, $q_s$ 为缓存区待发数据长度, $v$ 为设定的发送数据的速率,为常量,理想耗能为 $W = cd^2 q_s$ ;

[0021] 最后获取接收数据耗能:所述接收数据耗能与所接收的数据长度和无人装备发送数据的电路功率设置有关,即 $W_r = q_r E_{elec}$ ,其中, $q_r$ 为待发数据长度, $E_{elec}$ 为发送每比特数据电路消耗的能量,为常量。

[0022] 进一步的,所述内核耗能为维持无人装备个体运行不断消耗的,内核能耗 $W_k$ 为:

$$[0023] \quad W_k = P_k t \quad (2)$$

[0024] 其中,  $P_k$ 为无人装备机体耗能功率,  $t$ 为无人装备的工作时长。

[0025] 进一步的, 获取单个无人装备的剩余能量为  $W_{\text{surplus}} = W_{\text{full}} - W$ , 其中  $W_{\text{full}}$ 满电的电量,  $W$ 为总耗能, 所述总耗能=内核耗能+通信耗能, 公式为:

$$[0026] \quad W = P_k t + c d^2 q_s + q_r E_{\text{elec}} \quad (3)$$

$$[0027] \quad \text{故 } W_{\text{surplus}} = W_{\text{full}} - [W = P_k t + c d^2 q_s + q_r E_{\text{elec}}] \quad (4)$$

[0028] 更进一步的, 在无人装备集群网络中, 各个无人装备之间通信满足下列条件:

[0029] a) 通信链路均为双向;

[0030] b) 每个无人装备的发射功率能进行动态调节;

[0031] c) 每个无人装备均由电池供能, 总能量有限且相同;

[0032] d) 每个无人装备都配有GPS/北斗定位模块。

[0033] 更进一步的, 通过路径中所有无人装备的剩余能量之和来作为选择路径的依据, 修改传输过程中的数据包, 将所述剩余能量通过累加计算代入数据包的标志位; 具体为:

[0034] 路由发现过程中, 在RREQ包中加入两个8Bit的新字段, 用于存放路径中所有节点的剩余能量之和以及缓冲区数据长度;

[0035] 路由维护过程中, 在Hello数据包中加入1Bit的能量标志位, 若节点剩余能量  $E_s$  小于电池自身容量的一定比例, 则将标志位置0;

[0036] 在路由表中加入一个8Bit的新字段, 用于记录某一传输路径中所有节点的剩余能量之和, 以此作为路由选择的判据。

[0037] 更进一步的, 所述根据所述标志位选择数据传输路径, 具体包括:

[0038] a) 路由发现的步骤: 某个无人装备需要向另一无人装备发送数据时, 首先查找当前维护的路由表, 如果存在能使用的有效路径, 则选择该路径进行数据传输, 若未找到能到达目的无人装备的有效路径, 则开始路由发现, 具体过程如下:

[0039] ① 源无人装备向邻居节点广播RREQ报文;

[0040] ② 当某无人装备接收到RREQ报文时, 首先检测报文中的序号, 看自身是否接受过此报文; 若接收过, 则丢弃此报文; 若未接收过, 则判断自身是否是目的节点;

[0041] ③ 若自身是需接受数据的无人装备, 则跳至步骤⑥; 并将RREQ包的传播路径更新至自身路由表中, 记录RREQ包中的剩余能量标志位至自身路由表, 以此作为选择路径凭据;

[0042] ④ 若自身不是需接受数据的无人装备, 首先查询自身路由表中是否存在能到达需接受数据的无人装备的传输路径, 若存在, 则跳至步骤⑥; 若不存在, 则先提取所需要的参数, 之后代入网络通信交互能量模型中, 将计算结果加入RREQ包中的剩余能量标志位, 并将自身链路层的缓冲区数据长度写入相应的标志位, 根据自身的剩余能量以一定概率转发此报文至周边节点;

[0043] ⑤ 重复步骤②③④, 直至需接受数据的无人装备接收到此报文;

[0044] ⑥ 需接受数据的无人装备按照RREQ包的传输路径回复RREP包, 并将RREQ包的传播路径更新至自身路由表中, 并更新剩余能量标志位, 反应整个数据传输路径的剩余能量情况;

[0045] ⑦ 源无人装备接收到RREP包, 建立起数据传输的路径, 并将该路径维护至自身路

由表中；

[0046] ⑥ 若存在多跳路径，则选择路径中所有节点的剩余能量之和最高的路径进行传输。

[0047] b) 路由维护的步骤：EAODV协议中，各无人装备在没有数据传输任务时周期广播Hello报文，相邻无人装备根据在规定时间内能否接收到Hello报文判断数据传输路径是否存在，Hello报文只广播给相邻无人装备，跳数为1，无人装备每隔周期时间更新相邻无人装备信息，具体过程如下：

[0048] 各无人装备根据其相邻无人装备所发送的Hello数据包中的能量标识位来得知相邻无人装备能量剩余情况，并向相邻无人装备通知自身剩余能量情况；

[0049] 当某个无人装备的剩余能量比较充足时，无人装备向相邻无人装备发送Hello数据包中的能量标识位置1，显示自身的剩余能量充沛，能完成数据传输任务；

[0050] 当某个无人装备的剩余能量低到某个阈值时，将自身所发送Hello数据包中的能量标识位置0，通知相邻无人装备自身剩余能量已无法完成数据传输任务；

[0051] 某个无人装备接收到的Hello数据包中的能量标识位为1时，此路径能正常完成数据传输任务；若某个无人装备没有在规定时间内收到相邻无人装备发送来的Hello数据包，则启动路由恢复过程，修复路由；

[0052] 某个无人装备接收到的Hello数据包中的能量标识位为0，则判定此无人装备剩余能量过低不允许被继续作为中继节点使用，则直接跳过路由恢复过程，启动中断更新策略重新发现路由。

[0053] 本发明由于采用以上技术方案，能够取得如下的技术效果：本申请对无人装备集群网络路由算法进行了改进，降低了无人装备之间传输数据的时延，减少了无人装备集群网络中路由发现的频率，延长了整体网络的存活寿命，优化网络性能，使无人装备之间的数据传输更加可靠。

## 附图说明

[0054] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简要介绍：

[0055] 图1是背景技术中无人集群网络拓扑图；

[0056] 图2是背景技术中无人集群网络通信方式图；

[0057] 图3是修改后的RREQ消息格式图表；

[0058] 图4是修改后的Hello消息格式图表；

[0059] 图5是修改后的路由表格式图表；

[0060] 图6是基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法流程图；

[0061] 图7是运行时间与端到端时延的关系图；

[0062] 图8是节点最大移动速度和路由发现频率关系图；

[0063] 图9是节点剩余能量图。

## 具体实施方式

[0064] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细的描述：以此为例对本申请做

进一步的描述说明。显然,所描述的实施例仅仅是本发明中的一部分实施例,而不是全部实施例。

[0065] 随着网络信息化程度的不断提高,社交网络中用户的关系以及网络结构日益复杂,信息交互更为频繁、方式更为多样,表现出社团化、链路多重交错等特点,具有典型复杂网络的特征。同时,无人集群网络具有个体能量受限、移动速度快等特点,易产生拓扑结构变化频繁、链路中断率高的问题,导致网络路由切换频繁,影响信息传输的可靠性。同时,个别节点的能量消耗过快,甚至还会发生节点过早死亡的情况。因此,若没有选择一种适用于无人集群网络的路由算法,将对无人集群网络造成重大影响。但是,目前已有的关于无人集群网络的路由算法存在一定的局限性,难以解决节点能量消耗不均衡的问题。

[0066] 故本申请提出一种基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法。首先,根据无人装备集群通信网络的特点,建立无人装备集群通信交互能量模型;其次,修改无人装备集群通信网络路由协议数据包格式,增加剩余能量值标志位,用于个体转发路由响应消息(RREQ)包时返回自身剩余能量,计算整条链路的能量消耗,为路由判断提供依据;最后,为减少低能量节点参与路由过程,提出基于能量均衡的路由算法实现策略,延长网络寿命。

[0067] 实施例1

[0068] 一种基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法,具体步骤如下:

[0069] 一、根据无人装备集群的特点,建立单个无人装备的网络通信交互能量模型,获取单个无人装备的剩余能量:

[0070] 集群中的单个无人装备一般由电池供电,能量问题是影响装备性能的重要因素。在无人装备集群网络中,各个无人装备的能耗主要包括两部分:无人装备维持自身移动、存活以及完成其他任务的耗能,称之为内核耗能,可以通过节点存活时间与自身消耗功率计算得知;无人装备之间互相传输数据所消耗的能量,称之为通信耗能。单个无人装备的通信耗能可细分为两部分:发送数据耗能和接收数据耗能。

[0071] ①发送数据耗能的获取方式为:

[0072] 无人装备集群网络中,由于无人装备的天线增益与接收功率为定值,根据Friis公式,可得发射功率与节点之间的距离成正比。通过提取无人装备的缓冲区数据长度与发送速率可计算出无人装备发送数据所用时间。将发射功率与发送数据所用时间相联立,则可计算出发送耗能。

[0073] a) 获取节点的发射功率

[0074] 无人装备集群网络中两个无人装备之间通信的发射与接收功率之间的关系满足Friis公式,在得知发射端与接收端的通信距离后,可以计算出节点的发射功率:

$$[0075] \quad P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

[0076] 其中, $P_r$ 为接收到的信号功率, $P_t$ 为发射功率, $G_t$ 为发射天线增益, $G_r$ 为接收天线增益, $\lambda$ 为波长, $L$ 为与传播无关的损耗, $d$ 为发射端与接收端的距离。

[0077] 若常量均用 $c$ 表示,则发射功率公式可变为 $P_t = cd^2$ ,其中 $c = \frac{P_r(d)(4\pi)^2 L}{G_t G_r \lambda^2}$ 。

[0078] b) 获取发送数据耗能

[0079] 由能量与功率关系 $W=P_t t$ 得,无人装备发送数据的功耗为 $W=cd^2t$ 。传输时间 $t$ 可由发送速率和缓存长度计算得知,计算公式为 $t=\frac{q_s}{v}$ 。其中, $q_s$ 为缓存区待发数据长度, $v$ 为设定的发送数据的速率,为常量。理想耗能为 $W=cd^2q_s$ 。

[0080] ②接收数据耗能的获取方式为:

[0081] 接收耗能与所接受的数据长度和无人装备发送数据的电路功率设置有关,即 $W_r=q_r E_{elec}$ 。其中, $q_r$ 为待发数据长度, $E_{elec}$ 为发送每比特数据电路消耗的能量,为常量。

[0082] ③内核耗能为:

[0083] 为维持无人装备个体运行不断消耗的内核能耗 $W_k$ 为:

$$[0084] \quad W_k = P_k t \quad (2)$$

[0085] 其中, $P_k$ 为无人装备机体耗能功率, $t$ 为无人装备的工作时长。

[0086] ④总耗能为:总耗能=内核耗能+通信耗能。公式为:

$$[0087] \quad W = P_k t + cd^2 q_s + q_r E_{elec} \quad (3)$$

[0088] 故,无人装备的剩余能量为 $W_{surplus} = W_{full} - W$ 。公式如下:

$$[0089] \quad W_{surplus} = W_{full} - [W = P_k t + cd^2 q_s + q_r E_{elec}] \quad (4)$$

[0090] 二、通过路径中所有无人装备的剩余能量之和来作为选择路径的依据,修改传输过程中的数据包,将所述剩余能量代入数据包的标志位;在无人装备集群网络中,各个无人装备之间通信满足下列条件:

[0091] a) 通信链路均为双向;

[0092] b) 每个无人装备的发射功率可以进行动态调节;

[0093] c) 每个无人装备均由电池供能,总能量有限且相同;

[0094] d) 每个无人装备都配有GPS/北斗定位模块。

[0095] 对原有AODV协议的数据包格式进行以下修改:

[0096] 路由发现过程中,在RREQ包中加入两个8Bit的新字段,用于存放路径中所有节点的剩余能量之和以及缓冲区数据长度。修改后的RREQ消息格式如图3所示。

[0097] 路由维护过程中,在Hello数据包中加入1Bit的能量标志位。若节点剩余能量 $E_s$ 小于自身电池容量的一定比例,则将标志位置0。修改后的Hello消息格式如图4所示。

[0098] 在路由表中加入一个8Bit的新字段,用于记录某一传输路径中所有节点的剩余能量之和,以此作为路由选择的判据。修改后的路由表格式如图5所示。

[0099] 三、所述根据所述标志位选择数据传输路径,具体包括:

[0100] a) 路由发现的步骤

[0101] 某个无人装备需要向另一无人装备发送数据时,首先查找当前维护的路由表,如果存在可以使用的有效路径,则选择该路径进行数据传输。若未找到可以到达目的无人装备的有效路径,则开始路由发现。具体过程如下:

[0102] ①源无人装备向邻居节点广播RREQ报文。

[0103] ②当某无人装备接收到RREQ报文时,首先检测报文中的序号,看自身是否接受过此报文。若接收过,则丢弃此报文;若未接收过,则判断自身是否是目的节点。

[0104] ③若自身是需接受数据的无人装备,则跳至步骤④。并将RREQ包的传播路径更新至自身路由表中。记录RREQ包中的剩余能量标志位至自身路由表,以此作为选择路径凭据。

[0105] ④若自身不是需接受数据的无人装备,首先查询自身路由表中是否存在可以到达需接受数据的无人装备的传输路径,若存在,则跳至步骤⑥。若不存在,则先提取所需要的参数,之后代入能量模型中,将计算结果加入RREQ包中的剩余能量标志位,并将自身链路层的缓冲区数据长度写入相应的标志位,根据自身的剩余能量以一定概率转发此报文至周边节点。

[0106] ⑤重复步骤③④⑤,直至需接受数据的无人装备接收到此报文。

[0107] ⑥需接受数据的无人装备按照RREQ包的传输路径回复RREP包。并将RREQ包的传播路径更新至自身路由表中,并更新剩余能量标志位,反应整个数据传输路径的剩余能量情况。

[0108] ⑦源无人装备接收到RREP包,建立起数据传输的路径,并将该路径维护至自身路由表中。

[0109] ⑧若存在多跳路径,则选择路径中所有节点的剩余能量之和最高的路径进行传输。

[0110] b) 路由维护的步骤

[0111] EAODV协议中,各无人装备在没有数据传输任务时周期广播Hello报文,相邻无人装备根据在规定时间内能否接收到Hello报文判断数据传输路径是否存在。Hello消息只广播给相邻无人装备,跳数为1,无人装备每隔周期时间更新相邻无人装备信息。

[0112] 各无人装备根据其相邻无人装备所发送的Hello数据包中的能量标识位来得知相邻无人装备能量剩余情况,并向相邻无人装备通知自身剩余能量情况。

[0113] 当某个无人装备的剩余能量比较充足时,无人装备向相邻无人装备发送Hello数据包中的能量标识位置1,显示自身的剩余能量充沛,可以完成数据传输任务。

[0114] 当某个无人装备的剩余能量低到某个阈值时,将自身所发送Hello数据包中的能量标识位置0,通知相邻无人装备自身剩余能量已无法完成数据传输任务。

[0115] 当某个无人装备接收到的Hello数据包中的能量标识位为1时,此路径可正常完成数据传输任务;若某个无人装备没有在规定时间内收到相邻无人装备发送来的Hello数据包,则启动路由恢复过程,修复路由。

[0116] 当路由被破坏,无法被修复时则启动中断更新策略,重新发现路由;当某个无人装备接收到的Hello数据包中的能量标识位为0,则判定此无人装备剩余能量过低不允许被继续作为中继节点使用,则直接跳过路由恢复过程,启动中断更新策略重新发现路由。

[0117] 为验证本申请提出的基于能量均衡的无人装备集群AODV路由方法的有效性和可行性,建立了3种均具有20个节点的随机移动无线自组织网络用来模拟真实无人集群网络,分别采用DSDV路由协议、AODV路由协议和EAODV路由协议来进行比较。节点最大移动速度为30m/s,初始能量为50J。为使网络中节点的剩余能量,将仿真时间设置为1000s。

[0118] (1) 运行时间与端到端时延的关系

[0119] 无人集群网络采用不同路由协议运行时,数据传输的端到端时延随着运行时间的变化情况如图7所示。从图7可以看出,随着运行时间的增加,传输数据的链路逐渐稳定,端到端时延逐渐减小。EAODV协议的端到端时延比AODV和DSDV协议较低,EAODV协议在传输过程中选择缓冲区数据少并且剩余能量较多的节点,避免了链路断开导致的丢包等情况,进

而降低了端到端时延。

[0120] (2) 节点最大移动速度和路由发现频率关系

[0121] 调整节点移动速率时,三种路由协议的路由发现频率的变化情况如图8所示。当传输数据链路断裂,节点无法通过原先链路传输数据,就会发起路由发现的过程,寻找新的链路。由图8可得,随着节点移动速度的增加,EAODV协议通过选取负载较轻与剩余能量较高的节点作为中继节点传输,使得链路更加稳定,因此路由发现频率比其余两种协议低。

[0122] (3) 节点剩余能量

[0123] 仿真结束后,无人集群网络中各个节点的剩余能量如图9所示。曲线越平缓,表示网络节点的能量消耗越均衡。由图可以明显看出,EAODV协议中,各个节点的剩余能量明显高于AODV和DSDV协议中各个节点的剩余能量,体现了EAODV路由协议能量均衡的优越性。

[0124] 利用不同指标进行仿真分析表明,本发明提出的EAODV协议能够适应无人集群网络的任务需要,优化网络性能,延长网络寿命和节点存活寿命,以达到数据稳定传输的目的。

[0125] 以上所述,仅为本发明创造较佳的具体实施方式,但本发明创造的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明创造披露的技术范围内,根据本发明创造的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明创造的保护范围之内。

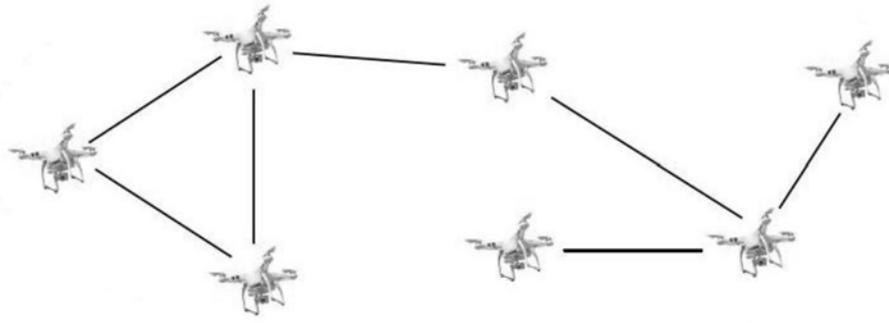


图1

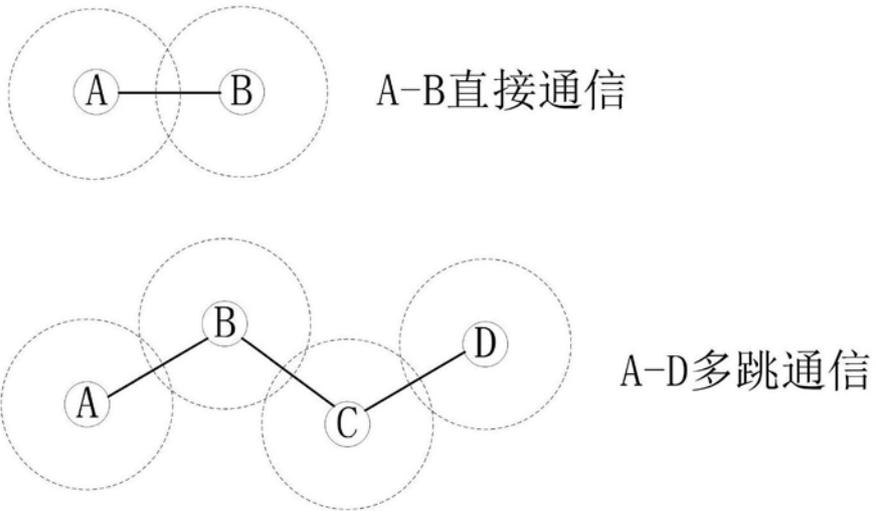


图2

类型	J R G D U	保留	跳数
路由请求消息标识			
目的节点地址			
目的节点序列号			
源节点地址			
源节点序列号			
路径剩余能量之和			
缓冲区数据长度			

图3

类型	保留
目的节点 IP 地址	
目的节点序列号	
跳数	
寿命	
能量标志位	

图4

目的节点 IP 地址
目的节点序列号
下一跳节点 IP 地址
跳数
前驱节点列表
生存时间
网络层接口
路由状态标志
剩余能量和

图5

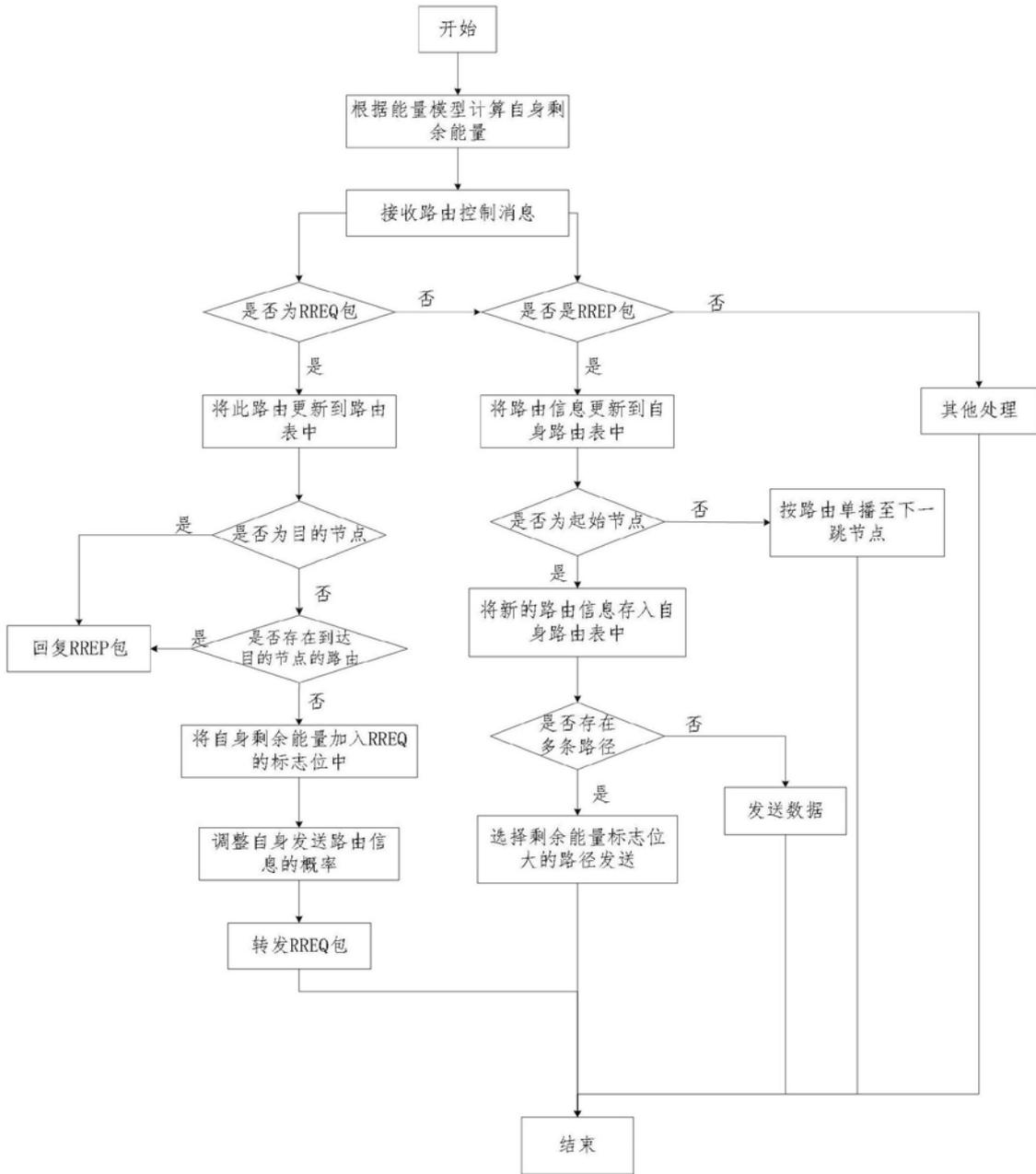


图6

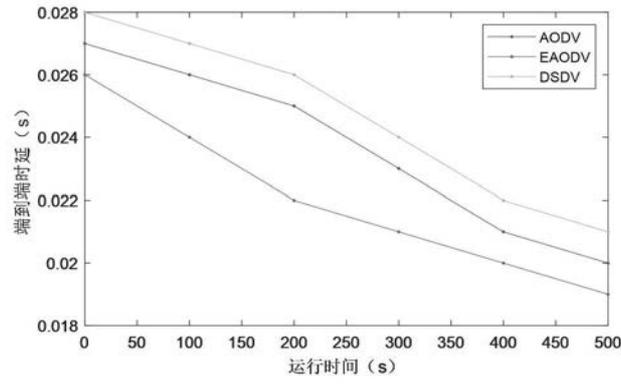


图7

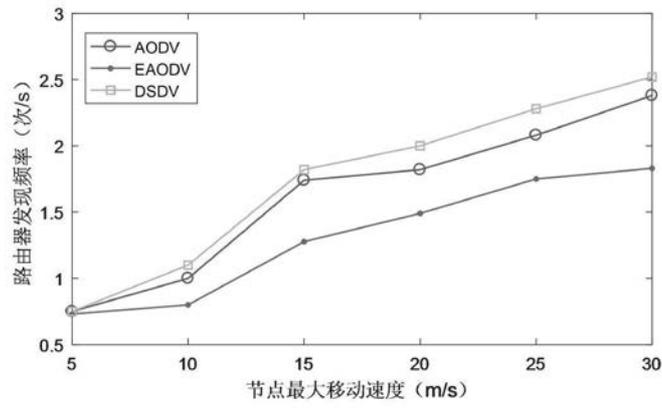


图8

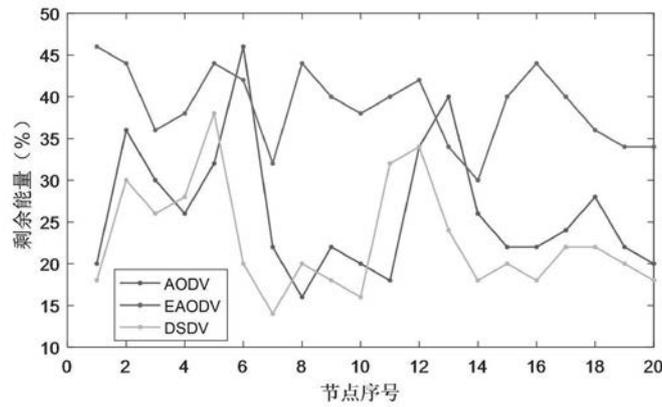


图9