

# 应用于三表集抄的低功耗组网协议的研究

杨其阔 严 军 王 臣 朱 静

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200072)

**摘要:** 随着无线通信技术的快速发展,完善基于智慧小区的三表(水表、电表、燃气表)集中抄表技术也进一步成熟。对目前传统协议没有针对三表集抄中网络拓扑变化频率低、且需低功耗等需求,基于 AODV(Ad Hoc on-demand distance vector)路由协议,提出了一种适合三表集抄应用的基于节点间距离与节点能量的可靠传输协议 DE-AODV,通过综合两个因素对报文传输路径进行合理的选择,节省报文开销,提升链路生命周期。通过理论分析与实验仿真表明 DE-AODV 算法对于原算法在三表集抄的应用下可以有效的节约报文开销提升链路生命周期。

**关键词:** 集中抄表;报文开销;DE-AODV 算法;链路周期

**中图分类号:** TN919 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5025

## Research on low power network protocol applied to centralized meter reading

Yang Qikuo Yan Jun Wang Chen Zhu Jing

(Communication &amp; Information Department of Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** With therapid development of wireless communication technology, the three-meter (water, electric, gas) centralized meter reading based on intelligent community networking technology is further mature. The current protocol does not consider the requirement of centralized meter reading which need lower frequency and power consumption. Based on AODV(Ad Hoc on-demand distance vector) routing protocol, a method named DE-AODV which is based on the distance between nodes and the energy of node is proposed in this article. By combining the two factors, the transmission path of the message is reasonable selected as well as save the packet cost and improve the link lifetime. The theoretical analysis and experimental simulation show that the proposed DE-AODV algorithm can effectively save the message overhead and improve the link life cycle in the application of three-meter centralized meter reading.

**Keywords:** centralized meter reading; packet overhead; DE-AODV algorithm; link cycle

## 0 引言

随着移动互联网的快速发展<sup>[1]</sup>,通信网络已经从面向人与人,发展到人与物、物与物通信<sup>[2]</sup>。传感网络技术和云计算技术使信息的智能获取、可靠高效传输和海量数据实时处理成为可能<sup>[3-4]</sup>。广播技术作为无线 Ad Hoc 网络的基本形式得到更为广泛的应用。智慧小区中的三表(水表、电表、燃气表)集中抄表技术作为建设数字地球中不可或缺的一环更是此技术得以应用的最好场景。

三表集抄指的是对居民用户的 3 种表具进行集中远程抄表的方式。在集中抄表的应用中,网络的主要功能是做单向的数据汇集,通信周期间隔较长。同时其网络的拓扑结构变化的频率较低,多数情况下只有在节点增加、删除时,才会发生网络拓扑结构的变化<sup>[5-7]</sup>。传统的路由协议如 AODV(Ad Hoc on-demand distance vector),存在无效的

报文开销,会造成过多的无用能量的损耗,导致网络使用寿命的缩短。随着集中抄表技术关注程度的不断增加,构建水、电、燃气等计量仪表集中统一管理的综合自动抄表系统不仅可以节约管理系统的构建费用,且无疑将提升相应管理的智能与自动化水平。所以需在一定条件下对其进行改进来应用于三表集抄。应用于三表集抄技术的 AODV 改进组网协议,集抄技术中采集系统结构如图 1 所示。



图 1 集抄采集系统结构

## 1 AODV 路由协议

AODV 协议是一个典型的按需路由协议,它基于 DSDV 算法,并结合 DSR 算法中的按需路由机制<sup>[8]</sup>。所以它既有 DSDV 中的逐跳路由和目的节点序列号等策略,又采用了与 DSR 中类似的广播形式的路由发现机制<sup>[9]</sup>。AODV 路由协议主要由路由发现和路由维护两个部分组成。

### 1.1 路由发现

AODV 协议的路由发现机制是源节点在路由建立阶段,生成并发送 RREQ 报文,之后通过中间节点对 RREQ 报文的转发,在节点的路由表中建立、更新反向链路信息,从而通过这种方式建立起从目的节点指向源节点的单向路由<sup>[10-11]</sup>。具体来说,节点在发送数据之前,首先要找到通往目的节点的路由,源节点向所有相邻节点广播一个路由请求分组,那么当节点接收到 RREQ 报文时,会根据 RREQ 报文的信息,判断是否为目的节点,若是则通过发送 RREP 应答报文建立到源节点的反向路由,若不是则查看是否存在到达目的节点的路由信息,若没有则继续转发,在这个过程中,收到 RREP 的节点建立到目的节点的正向路由<sup>[12-13]</sup>。通过这两个分组的发送过程来完成从源节点到目的节点的路由建立过程。AODV 协议在路由建立阶段的报文如图 2 所示。

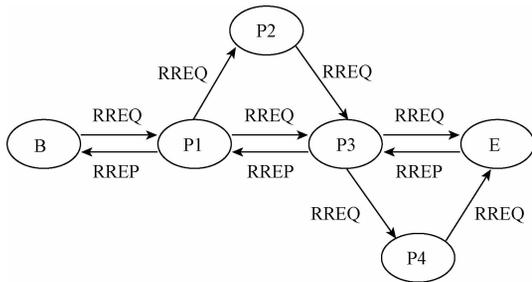


图 2 AODV 协议在路由建立阶段的报文

### 1.2 路由维护

AODV 协议的路由维护过程包括邻域维护和链路维护。

对于邻域维护,节点通过周期性地广播最大跳数值为 1 的 HELLO 报文,用来维护与邻居节点间的链路,如果在一定的时间内,相邻节点一直没有收到再次确认连接的 HELLO 包,那么说明该链路可能已经断开,那么以这一节点为下一跳的路由都不能再使用<sup>[14]</sup>。

对于链路维护,当节点检测到链路失效后,协议通过发送 RRER 报文来通知网络中其他相关节点链路的失效信息,接收到 RRER 报文的节点根据报文中的信息来标记路由表中的无效路由。链路维护通过 RRER 报文在节点间的转发来维护整个网络路由的时效性。

## 2 改进协议 DE-AODV

从前文的介绍中了解,单纯的使用传统的组网技术应用用于三表集抄的网络并不能很好的满足需要,适用于三表集抄的无线组网路由协议须在节点进行路由发现时有较小的报文开销,在路由维护时有较小的时延。针对此问题,本文提出了一种适用于三表集抄的基于节点剩余能量和节点间距离综合考虑作为报文转发优先级的考虑因素。

随着物联网技术的发展,如何有效、可靠的将物联网技术运用于智慧小区的三表集抄技术中是当前研究的一大热点。而其中考虑剩余能量的平衡比最小能量消耗对于延长网络生存周期更重要。如果节点到几个相邻节点之间距离太近且数值上很接近,只用距离去决定延迟转发时间,将会形成数值过于接近的延迟,进而引起冲突,影响可靠性。基于以上讨论,本文主要从进行路由建立部分的改进,把剩余能量和节点间距离综合考虑作为转发优先级的影响因素。从而达到提升链路生存时间的目的。

作为按需路由协议,AODV 可以在一定程度解决 Ad Hoc 网络中的路由问题,但是基于三表集抄的特点,它会造成额外的报文开销,产生无用能耗,从而减少网络的生命周期。同时没有限制的广播 HELLO 报文也会造成一定的资源浪费,所以本文将在这两方面对 AODV 进行改进。

### 2.1 DE-AODV 在路由建立部分的改进

#### 1) 建立邻居节点信息表

对于每个可用节点,首先设置分时发送,广播数据量极小的测试脉冲,信息只包含该节点地址,对于能接收到脉冲的节点,记录下节点的信息,进行保存作为邻居节点,同时通过接收到信息时的信号强度确定两个节点间的距离,在分时广播完毕后,完成每个节点的邻居信息表。

假设:当节点  $H$  收到一个来自邻居节点  $J$  的 RREQ 报文(这个报文可能由  $J$  生成,或是由  $J$  转发),节点  $H$  首先获得  $J$  的地址,并判断是否是第一次收到。如果是, $H$  节点根据邻居节点  $J$  来确认相关节点信息,包括  $J$  的地址、到  $H$  的距离,记录下  $J$  的生存周期(剩余能量)等。如果  $H$  在通过计算得到的规定延时后的一定时间内,没有收到任何来自  $J$  的报文。此时  $J$  的状态可能是能量枯竭,或因其他原因而进入休眠状态或失败状态。

#### 2) 节点距离和剩余能量的转发规则

假设  $J$  节点是一个已经生成路由请求报文 RREQ 或是接收到报文的节点, $J_{\text{num}}$  代表  $J$  节点的邻居节点数, $J$  首先查找自己的邻居节点路由表并决定距离阈值  $D_{\text{th}}$ ,根据邻居节点数和它们各自的分布,阈值应该满足下列条件:邻居节点到  $J$  的距离超过阈值的点的数量不小于总相邻节点数的一半,除了下列情况。

只有一个邻居节点被检测到, $D_{\text{max}}$  代表  $J$  到这个唯一节点的距离,此时  $D_{\text{th}}$  被设置为 0。

如果  $J$  只有 2~4 个邻居节点,那么  $D_{\text{max}}$  表示  $J$  到最远

节点的距离,设置  $D_{th}$  为  $J$  到最近节点的距离。与此同时,节点  $J$  在各个节点距离中选择最大距离  $D_{max}$  之后。节点  $J$  将  $D_{th}$  和  $D_{max}$  两个数据写入 RREQ 报文中。

本文定义当节点的剩余能量低于总能量的 30%, 则不具备转发报文的条件。

### 3) RREQ 报文的接收并转发

当发送 RREQ 报文后。节点  $J$  为报文设置一个响应时间  $A_{ckt}$ 。如果节点  $J$  在  $A_{ckt}$  之内没有收到来自邻居节点的路由应答报文的话,节点  $J$  则认为这个报文传输已经失败<sup>[15]</sup>,或者说发生冲突。如果此情况发生的话,节点  $J$  将会重发报文来改善可靠性。如收到路由应答报文,则节点  $J$  邻居节点已经成功的接收  $J$  发的广播包。

响应时间  $A_{ckt}$  等于一个包的传输时间 +  $2 \times$  传输时延 + 转发的最大延迟时间。

节点收到报文后会决定转发优先级,它是根据 RREQ 报文中的信息,包括最大距离、距离阈值、剩余能量和剩余能量的阈值。在满足剩余能量阈值的前提下,距离越远,转发优先级  $PI$  越高。转发延迟时间由优先级决定。

为了避免冲突,候选转发节点需要分时转发,但是如果所有的节点都根据优先级进行延迟转发,不必要的延迟会引起广播延迟。为了解决这个问题,本文设置最远距离的邻居节点将会无延时转发,因为这类节点可以提供最大覆盖范围的转发。

当邻居节点  $H$  接收到来自  $J$  节点的报文,查找邻居信息表中两点间的距离  $D_{HJ}$ ,之后  $D_{HJ}$  与报文中  $D_{th}$  和  $D_{max}$  进行比较。

如果  $D_{HJ} < D_{th}$ , 那么节点  $H$  不需要转发这个报文。

如果  $D_{HJ} = D_{max}$ , 说明  $H$  是距离  $J$  最远的邻居节点,这意味由  $H$  节点转发请求报文可以覆盖更多的区域,因此节点  $H$  有最高的优先级,且没有延时。

如果  $D_{th} \leq D_{HJ} < D_{max}$ , 那么节点  $H$  要转发报文需要根据转发优先级延迟一段时间转发,转发优先级由距离和剩余能量决定<sup>[15]</sup>:

$$PI = \beta \cdot \frac{D_{HJ}}{R_i} + (1 - \beta) \cdot \frac{E_i}{E_{max}} \quad (1)$$

式中:  $R_i$  代表传输半径,  $\beta$  代表距离的权重,取值在  $0 \sim 1$ 。  $E_i$  代表此时节点的剩余能量,  $E_{max}$  代表节点最大能量。

节点  $H$  的转发延迟时间根据  $PI$  决定<sup>[15]</sup>:

$$T_i = f(PI) = MT \cdot \tanh((1 - PI / PI_{max}) / n) \quad (2)$$

$MT$  代表最大的延迟时间,  $PI_{max}$  是  $PI$  的最大值,  $n$  是有时间决定的常数,在大多数情况下,  $n$  可以设置为 0.4。

如果  $D_{HJ} > D_{max}$ , 这意味  $H$  节点不是  $J$  节点的相邻节点,那么  $H$  节点不需要转发这个报文。

如果  $H$  需要在做出以上判断以后再转发报文,将会通过相同的方法决定它的  $D_{th}$  和  $D_{max}$ , 然后保存到报文中。

如果节点  $H$  在时间  $T_i$  内即延迟时间范围内接收到由  $N$  转发的相同报文,且两个节点间的距离大于最大传输距离的 4/5,此时若  $H$  要转发此报文,则需要经过延时,并且报文将会在延迟时间后进行转发,如果  $D_{HN}$  小于传输半径的 4/5,节点  $H$  不会转发报文。如果  $H$  收到相同的报文超过一次,节点  $H$  也将会取消转发。

## 2.2 DE-AODV 在路由维护方面的改进

AODV 中路由维护阶段是需要节点通过周期性地广播 HELLO 报文来发现与维护与相邻节点间的链路,虽然 HELLO 报文是只有一跳的报文,但是没有目的的广播报文,必然存在信道拥堵、资源浪费等问题,针对这个问题,本文提出根据改进的路由请求,根据更新的邻居节点信息表,将本节点已确定转发报文的邻居节点作为处理 HELLO 报文的对象,这样会一定程度上减少报文的处理数量与判断次数,可以节约链路开销,也更有针对性,从而提升效率,提高路由传输的可靠性。

## 3 仿真与测试

本文仿真环境为  $120 \text{ m} \times 120 \text{ m}$  的区域内设置由  $10 \sim 80$  个节点数量,最后通过比较得出 AODV 和 DE-AODV 的 RREQ 报文开销数量。同时设置节点初始能量为 10 J,节点发送接收功率分别为 0.6 和 0.4 W,传输半径为 50 m,仿真时间为 600 s,取 10 次仿真结果的平均值。RREQ 报文的开销量仿真结果如图 3 所示。

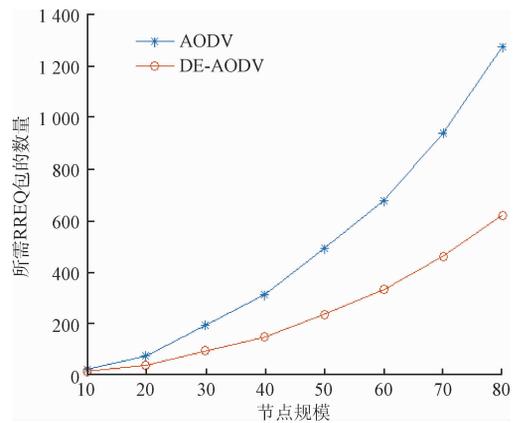


图3 RREQ 报文开销量仿真结果

图3为 AODV 算法和改进算法 DE-AODV 的仿真对比结果。由图3可知,改进之后的算法与原算法相比除了在小量节点规模稍稍接近的情况外,大大的降低了 RREQ 包的需求数量,这也表示改进算法可以很好的节省报文数量,节约链路开销。

路由维护中邻域维护部分的仿真结果如图4所示。如图可知,根据算法原理,由于所需接收相应 HELLO 包的节点数量因为算法改进而大大减少,所以,在接收后,需要对相应 HELLO 包处理的节点数量也会随之降低,所以仿真

结果表明,改进算法在邻域维护处理阶段同样很好的节省了开销,减小了处理压力,节约了能耗。

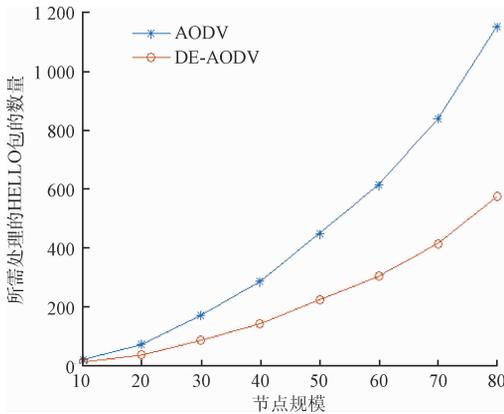


图4 邻域维护中 HELLO 报文处理的仿真结果

不同仿真时间下的总能量消耗如图5所示。如上图所示,随着仿真时间的进行,总的消耗能量也相应增加,由于DE-AODV协议中的节点在参与路由的时候避免了低能量节点的参与,同时减少了报文开销,这样在对应时刻总能量的消耗会更少。

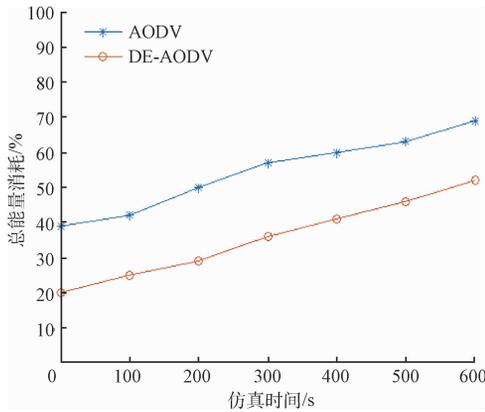


图5 不同仿真时间下的总能量消耗

## 4 结 论

本文讨论应用于三表集抄的组网协议。针对报文开销与能耗均衡等问题,提出了一种改进的适用于三表集抄的DE-AODV协议。通过改进路由发现机制中报文开销过大和链路能耗不够均衡的问题,有效减少了路由发现机制中RREQ报文的发送数量,使链路能耗更加均衡,提高了链路的生存周期。

## 参考文献

- [1] 严中毅,李凯. 测量仪器与现代微电子、计算机和软件技术的融合[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 631-637.
- [2] 朱渊婧,严军,张晓蓉,等. 移动节点多数据项实时广播调度算法的研究[J]. 电子测量技术, 2015, 38(7): 15-18.
- [3] 王延年,张双双,刘婷. 无线传感器低功耗路由算法[J]. 电子测量技术, 2016, 39(2): 115-117.
- [4] 张倩倩,章亦葵,潘勇. 一种多协议融合的物联网节点设计[J]. 电子测量技术, 2011, 34(8): 85-87.
- [5] 李甲,吴一戎. 基于物联网的数字社区构建方案[J]. 计算机工程, 2011, 37(13): 262-264.
- [6] NITYANANDA S, SUKUMAR N. Route stability QoS routing in mobility Ad Hoc networks [J]. Wireless Personal Communications, 2010, 51(1): 203-224.
- [7] UCKELMANN D, HARRISON M, MICHALLELLES F. Architering the Internet of Things [M]. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011: 1-24.
- [8] 王兵,武杰,孔阳,等. 数字传感网络的高速数据传输协议设计[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(7): 1644-1649.
- [9] 韩丽丽,刘秀丽. 基于元胞自动机的 AODV 能量均衡研究[J]. 电脑知识与技术, 2011, 7(8): 1863-1864.
- [10] 符媛柯,唐伦,陈前斌,等. 车载自组织网络路由协议及研究进展[J]. 计算机应用, 2013, 33(7): 1793-1801.
- [11] 郭彦芳. 一种改进的基于能量优化的 AODV 路由协议[J]. 无线电通信技术, 2016, 42(4): 25-28.
- [12] 王洁,李明明,刘建生,等. 基于改进的 AODV 多路径路由算法建模分析[J]. 电脑知识与技术, 2015, 11(3): 52-56.
- [13] 张登银,王军玲. 改进的 AODV 路由协议性能比较研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(1): 67-73.
- [14] 周灵,王建新. 无线多媒体传感器网络路由协议研究[J]. 电子学报, 2011, 39(1): 149-156.
- [15] WANG X Y, YU Y P, LIU X X, et al. Distance and energy balance based reliable broadcast in mobile Ad Hoc networks[C]. 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, IEEE, 2014: 174-179.

## 作者简介

杨其阔, 1991 年出生, 工学硕士, 主要研究方向为物联网等。

E-mail: Darren. yang@foxmail. com