

# 基于 AODV 路由协议的 ZigBee 网络性能研究与分析

卢纯强<sup>1</sup>, 罗汉文<sup>2</sup>

(1. 上海师范大学 信息与机电工程学院, 上海 200234;

2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

**摘要:** 随着点对点(ad-hoc)网络规模和应用范围的不断增大,网络需要提供的服务数量和种类愈来愈多,同时对网络的服务质量也有越来越高的要求. 通过将紫蜂协议(ZigBee)网络与经典的无线自组网按需平面距离向量(AODV)路由协议结合,运用 Network Simulator 2(NS2)仿真平台,仿真测试了基于不同传输半径下的路由发现时延以及端到端的时延,分析了传输半径对网络性能的影响,为改善和优化 ZigBee 网络的应用提供了建议.

**关键词:** 网络性能; 紫蜂协议; 无线自组网按需平面距离向量路由协议

**中图分类号:** TN 929.5    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000-5137(2016)02-0127-06

## 0 引言

随着无线通信技术和计算机技术的快速发展,根据节能社会的需求,低成本、低功耗的无线传感器节点研究得到了越来越多的关注. 因其广阔的应用领域,这种节点也在实际生活中得到大规模的运用,从而形成了大规模的无线自组织网络(Wireless Ad-hoc Network).

无线传感器网络中的节点主要分为分布式传感器节点(群)和汇聚节点. 传感器节点之间可以相互通信,自组织成网状结构并以多跳的方式连接至汇聚节点. 对于规模较大的网络,可以将其分成若干区块或者区域,每个区域称之为一个簇,并在每个簇内选出一个簇头,负责簇与簇之间的通信,每个簇头与汇聚节点之间都存在一条通路,所有簇头与汇聚节点之间的通路连接起来能够形成一个骨干网络,每个簇头收集簇内所有节点采集的信息并通过骨干网络将收集到的信息送至汇聚节点,最后汇聚节点借助互联网或卫星网络将当前信息传送到数据中心进行集中处理. 一般来说,无线传感器网络(WSN)的体系结构中应该包括分布式的传感器节点、汇聚节点、互联网和监控中心等. 分布式传感器节点一般都具有较低的电能,发射范围比较小,处理计算能力也比较弱,而汇聚节点具有较强的发射能力,电能较高,并且处理能力也比较强.

IEEE 802.15.4<sup>[1]</sup>协议是由 IEEE 802.15 工作组针对低速无线个人区域网络制定的标准,该标准具有低能量消耗、低传输速率和低成本的特点. 由于该标准中低速无线个人区域网的特征与传感器网络有很多相似之处,一般就把该标准视作传感器的通信标准. 紫蜂协议(ZigBee)<sup>[2]</sup>是基于 IEEE 802.15.4 标准的低功耗局域网络协议,它是无线自组织网络中的一种重要的传输技术.

当前,国内外学者还在不断地对 ZigBee 协议进行研究,主要集中在网络性能的分析 and 无线网络的

收稿日期: 2015-12-07

通信作者: 罗汉文, 中国上海市闵行区东川路 800 号, 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 邮编: 200240, E-mail: hwluo@sjtu.edu.cn

应用方面,而且针对 ZigBee 网络性能的研究多数为小规模拓扑结构.文献[3]给出了节点的传输半径与路由发现效率的关系.文献[4]给出了应用 Network Simulator 2(NS2)仿真 ZigBee 的结果.文献[5]对应用 IEEE 802.15.4 和 Zigbee 协议的大规模无线传感器网络的性能进行了分析.文献[6]对 ZigBee 网络的时延和速率等指标进行了测试.

本文作者通过将 ZigBee 网络与经典的 AODV 路由协议结合,运用 NS2 仿真平台,仿真测试了基于不同传输半径下的路由发现时延以及端到端的时延,探究了基于 AODV 协议的 ZigBee 网络的网络性能.

## 1 ZigBee 网络

为满足低成本、短距离的无线网络的要求,IEEE 标准委员会成立了 IEEE 802.15.4 工作组,主要是为了制定低速无线个人区域网络标准. IEEE 802.15.4 标准具有低能量消耗和低复杂度、低成本、低速率传输的特点,是一种为小范围无线节点提供低速率传输的互连标准.低速无线个人区域网络是一种低成本、低功耗并且结构简单的无线通信网络,这使得无线连接在低吞吐量和低电能的应用环境中得以实现.低速无线个人区域网络中只需要很少的基础设施就可以实现网络的组建,甚至不需要基础设施. IEEE 802.15.4 标准直接定义了物理层和媒体访问控制层的内容,Zigbee 协议中的物理层和 MAC 层也是直接使用这两层的内容.

ZigBee 网络的体系结构如图 1 所示,网络中的节点分为协调节点、路由节点和终端节点,其中协调节点和路由节点都是全功能设备(FFD),FFD 具备数据采集、接收和发送以及与外界通信的功能;而终端节点为简化功能设备(RFD),RFD 的功能就相对简单,它只能与它相关联的全功能设备通信.协调节点负责发起建立网络以及与外界通信,路由节点负责数据的接收和发送,终端节点只能与它相关联的路由节点进行通信.低速无线个人区域网有两种拓扑结构,分别是星型和点对点网络拓扑结构.

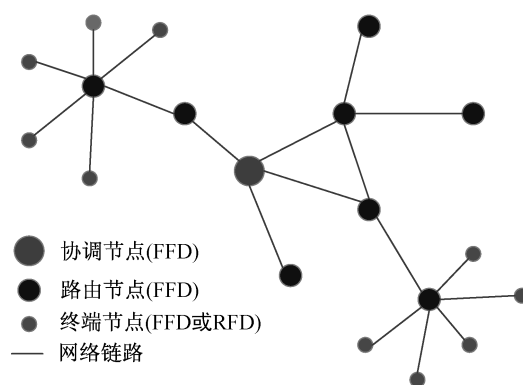


图1 ZigBee 网络体系结构

在星型网络中,使用一个 FFD 作为个人局域网(Personal Area Network, PAN)协调器.组网的过程是 PAN 协调器首先为该网络选择一个唯一的 PAN 标识符和一个可用的信道,然后其他的设备通过扫描、关联等一系列步骤加入这个网络当中,PAN 协调器为这些设备转发数据.每个终端设备包括 FFD 和 RFD 通过直接与网络中的协调器通信进行关联和数据传输等活动.该标准支持网络设备实现两种通信方式,一种是使用由 PAN 协调器分配的 16 位短地址通信,另一种是使用 64 位长地址在 PAN 内直接通信.

在点对点网络中也存在一个网络协调器,但是点对点网络拓扑可以是更为复杂的网络形式,原因是

网络中所有的设备都可以与在信号辐射范围内的设备通信. 比较典型的点对点网络有树型网络和网状网络等. 图 1 就是一个点对点网络. 点对点网络具有自适应性和自组织性的特点, 还可以以多跳方式传输数据, 因此点对点网络更适合无线传感器网络、工业控制及监测、智能农业、货物存储及安全等方面的应用. 后面的分析也是基于点对点网络中的网状网络.

## 2 AODV 路由

AODV 提出的最初目的是要建一个按需路由系统. 网络中的节点既不需要参加任何定期的路由表交换, 也不需要维护任何路由信息. 除了源节点和目的节点之间需要通信或者节点作为中间节点为此链路提供路由信息之外, 其他节点不需要维护到目的节点的路由信息. 每个节点通过定期的广播 hello 消息来感知附近的节点, 并且节点保留到达相邻节点的路由表, 路由表的组织必须有利于为当地活动优化响应时间, 并提供快速的响应, 以建立一个新的路由请求.

AODV 算法的主要目标是: (1) 只有当源节点需要发送数据且没有到目的节点的路由信息时才广播路由发现包. (2) 当本地连接发生变化时, 要及时把相关信息发送给邻近的移动节点. (3) 实现本地连接管理和一般的拓扑维护的有效区分.

AODV 协议对动态源路由协议 (DSR) 中使用的“广播路由发现”机制进行了修改. 不同于 DSR 协议, AODV 协议依赖中间节点动态建立路由表项. 需要特别注意的一点是, 如果每个数据包都携带源路由的参数, 可能会导致网络的严重负载. 此外, 为了使节点维护最新的路由信息, AODV 协议也采用了序列矢量 (DSDV) 协议中对目标节点使用序列的方法, 但与 DSDV 协议不同的是, 在 AODV 协议中每个节点都维护一个单调递增序号计数器, 用于替换路由缓冲内的旧路由项目. 所有这些技术都是为了能够在网络带宽和拓扑结构发生任何变化的情况下做出更加快速有效的响应, 以确保不会发生路由环路中断.

### 2.1 路径的发现

无论何时, 当源节点需要进行数据传输并且它的路由表中没有到目的节点的路由信息时, 源节点将启动路由发现过程. 每个网络节点维护两个独立计数器: 广播 ID 计数器和节点序号计数器. 源节点广播路由请求报文 RREQ 到其所有相邻节点初始化路径发现过程. RREQ 包含如下域: 源节点地址、源节点序号、广播 ID、目的节点地址、目的节点序号和累计跳数. 参数源节点地址和广播 ID 能够唯一确定一个路由请求. 当源节点发送一个新的路由请求报文 RREQ 时, 广播 ID 就自动加 1. 收到 RREQ 的邻居节点会做出两种反应, 一种情况是该邻节点即是满足 RREQ 的节点或次邻居节点维护到目的节点的路由信息, 则邻居节点将发送路由响应报文 RREP 到源节点; 第二种情况是邻居节点不是 RREQ 所要求的节点也没有到目的节点的路由信息, 则邻居节点将收到的 RREQ 中的累计跳数加 1 后再次广播给自己的邻居节点. 需要指出的是, 一个节点可能收到来自不同邻居节点的相同的路由请求报文. 因此, 当一个中间节点收到一个 RREQ, 需要首先判断之前是否已经收到具有相同源地址 (source\_addr) 和广播地址 (broadcast\_id) 的 RREQ, 若之前已经收到, 则该中间节点会抛弃这个报文, 而不会重新广播这个路由请求报文. 若一个节点不是 RREQ 所要求的节点, 它必须设置反向路径来追踪部分信息, 这也是最终转发 RREP 所使用的路径. 追踪的信息包括源节点地址、目标节点地址、广播 ID、源节点序号和路由项目中反向路径的过期时间.

### 2.2 反向路径设置

除了广播 ID 外, RREQ 中还有两个序号域: 源节点序号和最新目标节点序号. 源节点序号用来设置到达源节点的反向路由, 其大小表明了反向路由的新旧程度; 目标节点序号用来设置到达目标节点的路

由,其大小表明了到达目标节点的路由的新旧程度.显然,一个目标节点的序号如果出现在了源节点的缓存内,则说明源节点之前使用过到达该目标节点的路由.

当 RREQ 从源节点出发以广播的方式发送到不同节点时,路径上所有节点都会自动设置自身节点到源节点的反向路径.为了建立反向路径,节点必须记录收到的来自邻居节点的第一份 RREQ 拷贝的地址.为了能够使 RREQ 经过网络期间产生一个路由响应报文 RREP,并经过反向路径回到源节点,反向路径所需的路由项目必须维护足够长的时间.

### 2.3 转发路径的设置

RREQ 最终达到的一个节点可能是目标节点也可能是维护到达目标节点的路由信息的中间节点.节点接收到路由请求报文 RREQ 之后首先需要检查 RREQ 到达路径上的双向链路.如果这个节点的路由表具有到目的节点的路由项目,该节点必须比较路由表中目的节点序号与收到的路由请求报文 RREQ 中目标节点序号,以此决定该路由项目当前是否可用.若路由表中目的节点序号小于报文 RREQ 中的目标节点序号,则该中间节点就不会用路由表中到达目的节点的信息来响应 RREQ,该节点对 RREQ 的部分信息进行更新,然后重新广播给邻居节点.当且仅当中间节点的路由表中的目标节点序号大于或者等于接收到的报文 RREQ 中的目标节点序号的时候,中间节点才能响应 RREQ,以单播的方式向源节点发送一个路由响应报文 RREP.这个 RREP 应包含:源节点地址、目的节点地址、目的节点序号、累计跳数和生存时间.

直到路由请求报文 RREQ 到达一个维护目的节点路由信息的节点时,就会建立一条到达源节点的反向路径.当 RREP 返回到源节点,RREP 所经过的节点都将设置一个指向目标节点方向的转发指针,并且更新源节点到目标节点的路由项目的超时时间以及最新的目标节点序号.那些不在 RREP 路径上的节点在超时计数到期后,将删除反向指针.由于并非所有节点都会在前往目的节点的路径上,而这些节点都在转播 RREQ 时建立反向指针,若这些节点最终发现他们无法到达目标节点,则对应的反向指针在超时计数到期后就会被释放. AODV 中设置的超时时间为 3000 ms.

收到 RREP 的节点转发收到的第一个 RREP 到源节点.若节点再次收到 RREP,则需要比较 RREP 中目的节点序号与路由表中目的节点序号的大小,当且仅当收到的 RREP 中目的节点序号大于路由表中目的节点序号,或到达同样目的节点的累计跳数小于先前收到的 RREP 中的累计跳

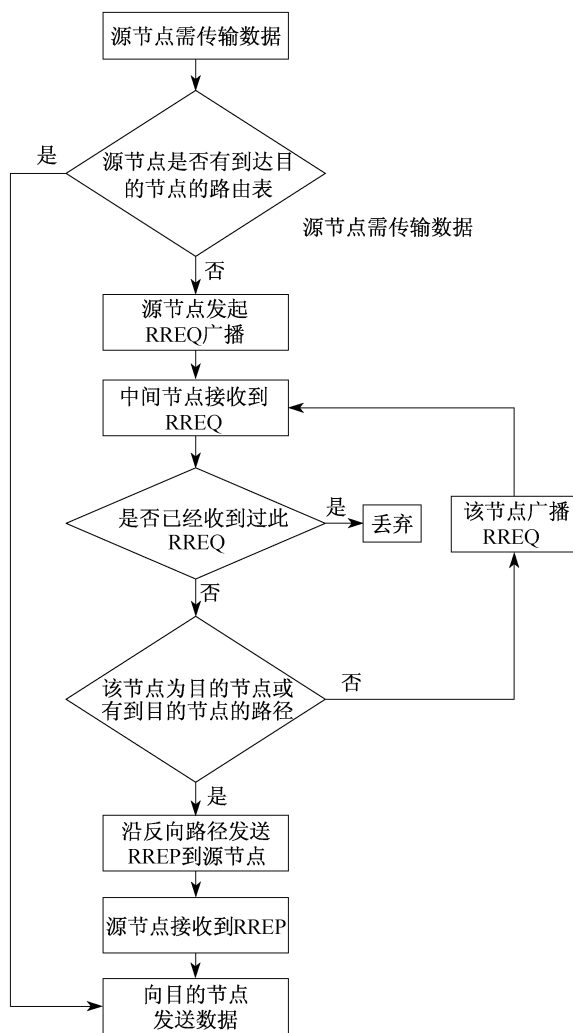


图2 AODV 路由发现的流程图

数时, 节点才更新到目的节点的路由信息并再次向邻居节点转发 RREP; 否则, 该节点将直接丢弃收到的路由响应报文 RREP. 这样就解决了 RREP 转发过多的问题, 并且又能保证路由表中的信息是最新的. 当源节点收到第一个路由响应报文 RREP 时就开始向目的节点发送数据, 并在数据传输过程中不断地更新路由表中的信息, 以确保路由表中的信息是最新的.

图2给出了 AODV 路由发现的流程图, 因此 AODV 协议下路由发现时延为源节点第一次广播 RREQ 到源节点第一次接收到 RREP 的时间差. 而端到端时延为源节点发送数据包到目的节点接收到该数据包的时间差.

### 3 实验仿真

#### 3.1 仿真环境及拓扑结构

在仿真分析中, 有三种类型的节点模型: 协调器、路由节点和终端设备. 主要关注于协调器和路由节点的传输. 网络中有 49 个节点, 包括 1 个 PAN 协调器和 48 个路由节点, 各节点间的水平距离和垂直距离均是 0.5 m, 节点的传输半径是变化的. 采用固定码率 (cbr) 的传输模式, 传输间隔设置为 0.2 s, 数据包的大小设置为 80 字节, 并应用 AODV 路由算法. RXThresh 表示接收阈值, 当接收到的信号强度  $P_r$  大于这个阈值时, 数据包就可以被成功接收; CStresh 表示侦听阈值, 当接收的信号强度  $P_r$  大于这个阈值时, 信号可以被检测到, 但是不一定能被解码, 除非信号强度大于 RXThresh. 通过改变 RXThresh 的大小可以改变节点的传输范围. 不同半径的仿真次数为 500 次, 仿真的时间为 100 s, 将通过仿真观察传输半径分别与路由发现时延和端到端的时延之间的关系.

#### 3.2 结果分析

得到了不同传输半径下的路由发现的平均时延(图3)和端到端的平均时延(图4).

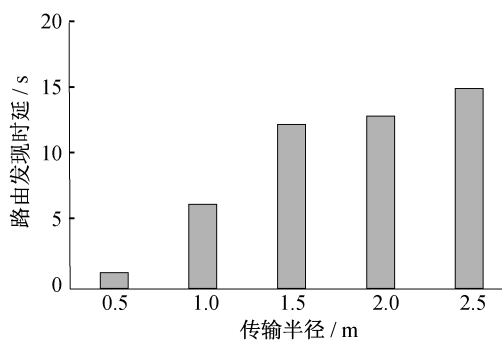


图3 传输半径与路由发现时延的关系

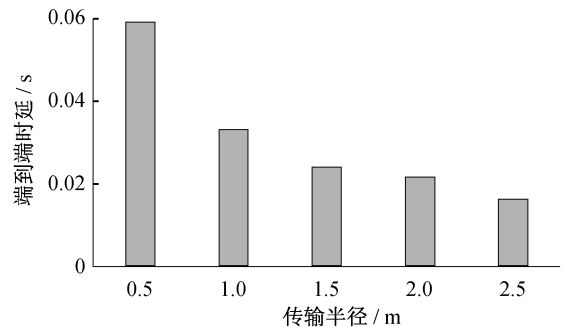


图4 传输半径与端到端时延的关系

由图3可以发现, 路由发现时延随着传输半径的增加而增高, 这是由于 AODV 路由发现的过程是一个广播的过程, 因此该过程中不同的传输半径会使节点之间的干扰程度不同. 传输半径越大, 节点之间的干扰越大, 会严重影响路由包的发送和接收, 因此传输半径越大, 路由发现时延也就会越大.

由图4可以发现端到端的时延随着传输半径的增加而降低, 这是由于端到端时延为单播的过程, 当传输半径比较小时, 源节点与目的节点之间的跳数就比较多, 在考虑每个节点的处理能力相同的情况下, 端到端的时延就会与源节点到目的节点的跳数成正比, 因此传输半径越大, 端到端的时延就会越小.

## 4 结 论

ZigBee 具有低功耗,低复杂度和低成本的特点,具有广泛的应用领域.本文作者通过结合 ZigBee 网络与 AODV 路由协议,仿真测试了基于不同传输半径下的路由发现时延以及端到端的时延.分析结果可以得知,传输半径增大,路由发现时延会提高,而端到端的时延会降低.因此可以根据不同网络应用的需求来改变节点的传输半径,提高网络的性能.

## 参考文献:

- [ 1 ] LAN/MAN Standards Committee. 802.15.4-2006 IEEE Standard for Information Technology-Part 15.4:Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANS) [S]. New York:IEEE,2006.
- [ 2 ] Zigbee Alliance. ZigBee Document 053474r17 [S]. San Ramon:Zigbee Alliance,2008.
- [ 3 ] Johnston M, Narula-Tam A. On the impact of transmission radius on routing efficiency [C]//ACM. Proceedings of the first ACM MobiHoc workshop on Airborne Networks and Communications. New York:ACM,2012.
- [ 4 ] Zheng J, Lee M J. A comprehensive performance study of IEEE 802.15.4 [M]//Phoha S, Porta T F L, Griffin C. Sensor Network Operations. Hoboken:Wiley-IEEE Press,2006.
- [ 5 ] Kohvakka M, Kuorilehto M, Hännikäinen M, et al. Performance analysis of IEEE 802.15.4 and ZigBee for large-scale wireless sensor network applications [C]//Proceedings of the 3rd ACM international workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor and ubiquitous networks. New York:ACM,2006.
- [ 6 ] Zhang C, Xiong Y, Fang W D, et al. System research of Zigbee network performance [J]. Research and Development, 2015,34(08):74-81.

## Research and analysis of ZigBee network performance based on AODV protocol

LU Chunqiang<sup>1</sup>, LUO Hanwen<sup>2</sup>

(1. College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;  
2. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** With the increase of ad-hoc network size and application range, network need to provide more and more quantity and quality of services, while the quality requirement of network services also increases. Through the combination of Zigbee network and classic AODV protocol, this paper simulates and tests the delay of routing discovery and the delay of end to end based on different transmission radius, analyses the impact of transmission range on network performance, and provides some advices for improving and optimizing ZigBee network applications, with the application of NS2 simulation platform.

**Key words:** ZigBee; AODV; network performance

(责任编辑:冯珍珍)