

# 基于 ZigBee 网状网络的分簇路由协议

刘瑞霞, 李春杰, 郭 强, 魏 诺, 孔祥龙

(山东省计算中心, 济南 250014)

**摘 要:** ZigBee 是一种短距离、低速率无线网络通信技术, ZigBee 网状网的路由是建立在 AODV 协议基础上的。采取一种有效的路由协议并能减少路由的负载对于整个网络的负荷的减小非常关键。在 ZigBee 网状网的基础上, 对 AODV 路由协议进行改进, 提出一种新型的分簇路由协议 AODV\_Cluster, 把整个 ZigBee 网络分成多个簇, 一个簇的标签是根据簇首的短地址来实现的, 而且同一个簇内的路由信息共享。仿真结果表明, 协议既保持了 AODV 的优点, 又提高了网络的可扩展性能, 特别是在网络的节点数较多时, 性能明显优于 AODV。  
**关键词:** AODV 协议; 路由协议; ZigBee 技术; AODV\_Cluster 协议; 仿真

## Cluster Routing Protocol Based on ZigBee Mesh Network

LIU Rui-xia, LI Chun-jie, GUO Qing, WEI Nuo, KONG Xiang-long

(Shandong Computing Science Center, Jinan 250014)

**【Abstract】** ZigBee focuses on short-haul, low data rate. The mesh routing protocol for ZigBee is built on the AODV, adopting an effective routing protocol and reducing overhead for route discovery may interfere with network traffic. Based on the ZigBee mesh network, this paper improves AODV route protocol, and proposes a new AODV\_Cluster route protocol. AODV\_Cluster divides the ZigBee network topology into one or more logical clusters. A cluster label uses the ZigBee address allocation, and the one cluster can share a new routing. Simulation shows this protocol not only keeps the AODV merit, but also advances the scalability. Especially in dense network, its performance excels AODV.

**【Key words】** AODV protocol; routing protocol; ZigBee technology; AODV\_Cluster protocol; simulation

### 1 概述

ZigBee 网状网技术结合了来自 ZigBee 技术和网状网技术中的许多优势, 如 ZigBee 技术中的低功耗、电池寿命长、组网成本低、网络容量大等, 还有网状网技术中的多跳技术、动态路由、高可靠性等。但是, ZigBee 网状网技术也有一定的缺陷, 如不适合传输大量数据, 只能进行低速数据传输; 虽然扩大了网络的覆盖范围, 但是过多的节点会增加消息传递的延迟和通信的开销等<sup>[1]</sup>。目前无线传感器网络的网状网的实现是以 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)路由方式为基础的, 网状网络之所以有这么高的可靠性, 主要依赖于多跳技术——多跳是指数据不断从一个节点跳到另一个节点。因为数据从一个节点不断传送到另一个节点, 又因为网状网络有好多节点, 所以任何一个节点到另一个节点之间的路径总是不止一条。结果, 要是某个节点因某种原因出了故障, 从其他节点发来的数据包就可以绕开它, 走另一条路径到达目的地。根据无线网状网的特点, 采用何种路由选择策略使得网络吞吐量最大, 可扩展性较好, 成为无线网状网研究的一个关键性问题。

ZigBee 采用按需路由算法 AODV, 在节能和网络性能上都有着很大的优势<sup>[2]</sup>。AODV 路由协议是无线网络中最经典和最广泛地被研究的按需路由协议之一。它的主要特点是使用系列号来标识一条路由的新旧程度, 同时也利用系列号来避免路由环的产生<sup>[3]</sup>。为了减少传输数据的首次延时, AODV 允许具有积极路由的中间节点直接响应路由请求。当节点探测到路由失败后, 该节点可以先进行局部修复, 修复不成功, 再发送错误报告给上游节点, 以便源节点重新建立路由。AODV 协议大大提高了无线传感器网络的路由效率, 然而由

于 AODV 协议比较简单, 因此还存在着各种各样的问题<sup>[4]</sup>。AODV 路由协议在通常情况下能工作得很好, 但当节点数较多时, 协议的性能就会急剧下降, 这是因为 AODV 的路由发现本质上还是使用泛洪方式的扩散法, 当网络规模较大、节点数较多时, RREQ 等路由控制报文激增, 导致网络超负荷运行和拥塞, 大大降低了网络的性能。因此, 减少网络中路由报文的数量, 是提高性能的关键。

本文提出了一种基于 AODV 的分簇策略, 即 AODV-Cluster。所谓簇, 就是具有某种关联的网络节点组成的集合, 在簇内, 通常有一个按一定的规则选举产生的、被称为簇头的节点, 用于管理或控制这个节点集合, 除簇头节点外, 簇内的其他节点可以被称为成员节点, 具有可扩展性好、便于管理等特点<sup>[5]</sup>。

### 2 路由协议设计

#### 2.1 协议概述

由于 AODV 是一个被广泛接受的路由协议, 因此在设计协议的时候, 在充分考虑了 AODV 协议的优点基础上又提高了协议的可扩展性, 以适合更大规模的网络。在 AODV\_Cluster 协议中, 保留了 AODV 的所有的控制报文, 如 RREQ 报文和 RREP 报文, 并根据需要又增加了一些新的路由控制报文, 如簇首广播报文、路由更新报文等。在刚开始路由发现的时候采用了 AODV 的泛洪式路由发现机制, 先

**基金项目:** 山东省科技攻关计划基金资助项目(2005GG4201017)

**作者简介:** 刘瑞霞(1976—), 女, 助理研究员, 主研方向: 无线传感器网络, 测控网络; 李春杰, 助理研究员; 郭 强, 博士; 魏 诺、孔祥龙, 助理研究员

**收稿日期:** 2008-06-20 **E-mail:** liurx@keylab.net

广播 RREQ 包的方式来找目的节点，只不过在形成路由过程以后，则同一个簇内的节点都共享这条路由信息，从而减少了整个网络的路由开销。

本协议在设计的时候首先把整个 ZigBee 网络分成多个簇，每个簇又有多个节点组成，这些节点按功能又分成 3 种类型的节点：簇首(Cluster Head)，簇成员(Cluster Member)和网关节点(Gateway)，簇首作为簇的中心负责路由过程建立后向簇内成员广播和簇结构的建立，收集簇成员的数据，经融合处理后发送给网关节点。

### 2.2 簇的形成

AODV\_Cluster 把 ZigBee 网络分成多个簇组成，则簇的划分有一个方法，这个方法是在下面的规则基础上建立的：

- (1)中心节点是一个簇首。
  - (2)簇首必须是有路由能力的节点，且网络深度为偶数的节点。
  - (3)深度为奇数的节点则属于它的父节点的簇。
  - (4)终端节点的簇属于它的父节点的簇。
- 簇首建立过程如图 1 所示。

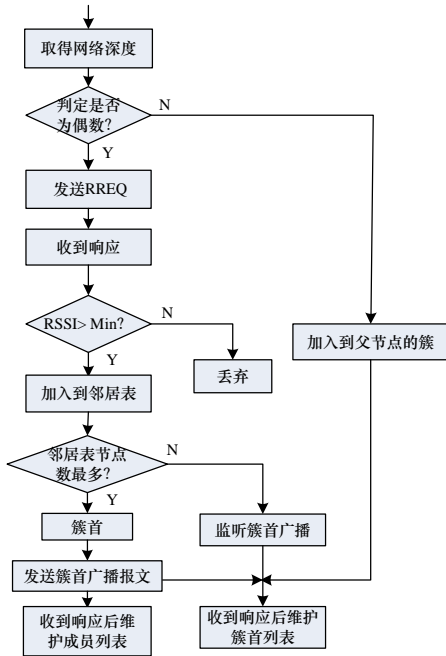


图 1 簇首的建立过程

簇建立的过程是在路由发现开始的时候形成的，根据节点分布的密集度来划分。最后选为簇首的节点的短地址即是该簇的标签。为了更合理地划分簇，而且根据 ZigBee 网状网的特点，在隔一个深度的基础上划分，因为中心节点的深度为 0，而且中心节点是一个簇首，所以选择了深度为偶数的路由节点里面选择一个簇首，而且每个簇的标识就是这个簇的簇首的短地址，比如以中心节点为簇首的一个簇，簇标识为 0x00，除了中心节点为簇首形成一个簇以后，其他的簇首的选举则是根据周围节点的分布情况来确定的，本文采用了根据判断信号强度 RSSI 的办法来确定节点的密集程度，在成簇的最初阶段，先判断网络深度，网络深度为偶数的节点在向外广播 RREQ 的时候，收到的节点都要向源节点发送一个确认信息，则发送 RREQ 的源节点把收到的确认信息根据所限定的最小信号强度值来判断，如大于这个值，则把这个节点放在邻居表里，则最后根据比较邻居表里周围节点的数

目的办法来确认节点数最多的点为簇首，这个节点的短地址号则为这个簇的标签，节点一旦成为簇首节点，则向它的周围节点发送簇首广播报文，收到的节点在自己不是簇首的情况下发送簇加入报文，然后簇首发送应到后，即加入到该簇。簇首节点则维护一个所有簇成员列表，簇成员节点则维护一个簇首节点表。

短地址的计算是根据这几个参数来得出的：父设备拥有子设备数量的最大值  $C_m$ ，网络的最大深度为  $L_m$ ，父设备将由路由器作为它的子设备的最大数为  $R_m$ 。网关 Gateway，即位于两个或者多个簇域重叠区域的非簇首节点，这些节点将相邻接的簇首连接起来，形成多跳路由路径，如图 2 所示。

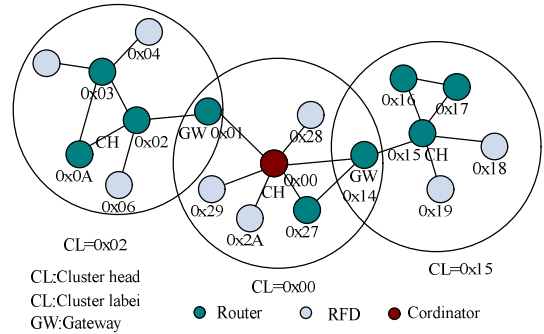


图 2 分簇后的 ZigBee 网络

### 2.3 路由发现过程

AODV\_Cluster 的路由请求过程类似于 Z\_AODV 的方式，当源节点有数据要发送给目标节点时，它首先在自己的路由表中查寻到目标节点的路由，如果路由存在并且有效，则立刻开始发送数据；如果相应的路由不存在或者路由存在但已经标明为无效时，源节点就开启一个泛洪路由发现过程。源节点创建一个路由请求包 RREQ，并向其周围节点广播，如果邻居节点收到 RREQ，则根据上述计算簇标签的方法计算出目的节点的簇标签后，则在它的邻居表中增加一个这个簇标签的路由接入点，并在路由查找表中增加一个目的节点的网络地址的路由接入点，当中间节点收到 RREQ 的时候，则与它的路由搜索表中的路由成本进行比较，如果这个路由成本比较低的话，则更新路由搜索表。然后继续广播，直到到达目的节点为止。路由请求过程如图 3 所示。

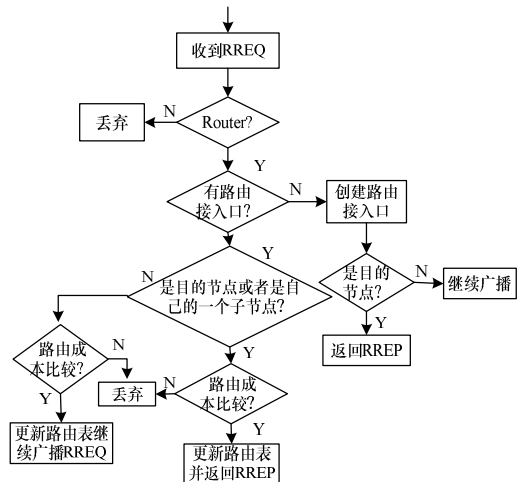


图 3 路由请求过程

目标节点收到路由请求后，不再广播路由请求，它先建立反向路径，产生一个 RREP，RREP 中含有最新的系列号

等信息，沿反向路径单波给源节点。中间节点和源节点在收到 RREP 后会建立到目标节点的路由，并更新系列号等有关的信息。源节点收到 RREP 后即建立路由并开始传输数据。当这个路由过程建立完毕后，则原节点向它的簇首发送一个携带有路由信息的路由确认包 RNOT(Rote Notify)，当簇首收到这个确认包以后，则簇首再广播一个路由更新包 RUPT(Route Update)，当它的簇员收到这个信息后，则共享刚才节点新建的路由信息。

例如网络地址为 0x0A 地址的节点要发送数据到目的地为 0x17 的节点，则先对外广播 RREQ 包直至到达目的节点，然后目的节点再发送 RREP 包确认，当源节点收到 RREP 响应后，则发送 PNOT 到网络地址为 0x02 的簇首节点，然后由簇首节点在对外广播，标签为 0x02 的簇里面的路由节点则都可以共享这个路由信息，如图 4 所示。

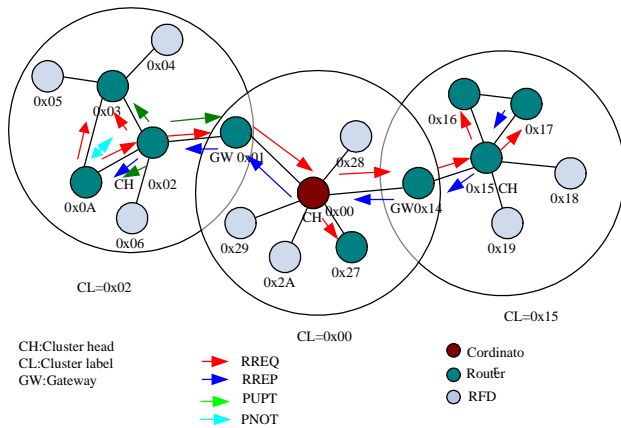


图 4 AODV-Cluster 的实例

在数据传输阶段，簇成员一般只与自己的簇首进行通信，由簇首负责数据的转发。分簇算法既保证了原有覆盖范围内的数据通信，又在很大程度上节省了节点的能量。分簇思想具有很多优点，例如，由簇首节点负担数据融合的任务，减少了数据通信量分簇式的拓扑结构有利于分布式算法的应用，适合大规模部署的网络由于大部分簇内节点在相当长的时间内关闭通信模块，不参加数据转发过程，因此显著地延长整个网络的生存时间。

### 3 仿真及结果

为了便于比较，在相同的仿真环境下分别运行 AODV 和 AODV-Cluster 的仿真程序并比较仿真结果，图 5 显示了报文发送成功率，从途中可以明显看出 AODV-Cluster 协议的数据报文发送成功率要高于 AODV 协议。

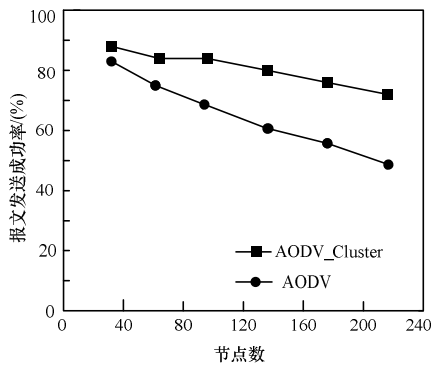


图 5 报文发送成功率

图 6 显示了 AODV 协议和 AODV-Cluster 协议在相同的源节点数目下网络中数据包的平均端到端延时。从图 6 中可以看出，延时会随着源节点数目的增加而变大。在相同源节点数目的情况下，延时的总体趋势是随着节点数增多而变大，也是由于随着源节点数目的增加会使网络过于拥塞，包成功接收的时间变长，因此会使延时变大。而在源节点数目相同的情况下，AODV-Cluster 协议的延时时间还是相对较小的。

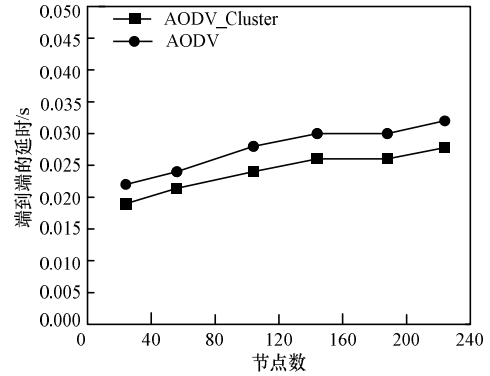


图 6 端到端延时的比较

两协议路由负载的比较如图 7 所示。这是根据每成功发送一个数据报文网上需传递的路由控制报文的数量来绘制的。这里所说的路由控制报文包括网上传输的 RREQ, RREP, RERR 和 Hello 报文，AODV-Cluster 还包括簇首广播、路由确认包等。从图 6 中也可看到，AODV 在节点数超过 120 时路由负载急剧增加，而 AODV-Cluster 增加相对较为缓慢。这也证明了 AODV-Cluster 协议确实能有效降低路由控制报文的数量。

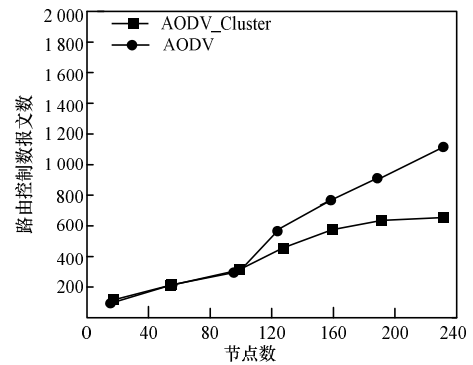


图 7 路由负载的比较

### 4 结束语

目前在 ZigBee 网状网络的研究中，路由协议的研究已经成为了无线传感器网络研究的热点和难点。本文在 ZigBee 网状网的基础上，对 AODV 路由协议进行了简单地分析，并且进行了改进，借鉴了 ZigBee 簇树形的思想，提出了一种新型的分簇路由协议。由于同一区域内的节点发送的数据具有很大的冗余性，因此采取分簇结构的网络，分布比较集中的节点形成簇并选举簇首，簇内节点将数据发给簇首，簇首收集簇内各节点的信息完成簇内数据融合工作，对数据包进行压缩，这样就减少了数据流量，也实现了节能目的。通过仿真实验可以看到，改进后的协议能增加报文的发送成功率，并能减少路由的负荷和端到端的延时，网络中节点数较多时，性能比 AODV 有明显提升，这表明 AODV-Cluster 有很好的可扩展性。

(下转第 181 页)