

文章编号:1672-058X(2013)08-0072-06

基于 6LoWPAN 的 RPL 路由协议研究*

李树军

(盐城师范学院 信息科学与技术学院,江苏 盐城 224002)

摘 要:对无线个域网的协议体系进行了介绍,在此基础上,对 RPL 路由协议的制定背景、相关标准的现状和作用进行了阐述;详细介绍了 RPL 路由协议的相关术语、工作原理和拓扑结构。最后,以实例的方式介绍了 RPL 路由协议如何采用 3 种控制消息进行向上路由和向下路由的建立,并对 Storing Mode 和 Non-Storing Mode 两种向下路由建立模式的异同点进行了分析。

关键词:RPL;无线个域网;路由协议;传感器网络

中图分类号:TP393

文献标志码:A

0 引 言

无线传感器网络经过十几年的发展,已经越来越受到学术界和工业界的关注和青睐。无线传感网络在走向产业化的过程中面临一个亟待解决的问题:将现有 IP 网络扩展到无线传感器网络,使传感器网络与互联网互通互联。迄今为止,无线传感器网只采用专用协议,因为 IP 协议对内存和带宽要求较高,要降低它的运行环境要求以适应微控制器及低功率无线连接很困难,将 IP 协议引入无线通信网络一直被认为是不现实的^[1,2]。

6LoWPAN 协议的出台改变了这一局面,该标准旨在将 IPv6 引入以 IEEE802.15.4 作为底层标准的无线个域网。6LoWPAN 协议弥合了无线传感器网络与下一代互联网之间的缝隙,实现两者之间的高效互通和访问。为了解决 6LoWPAN 的路由问题,IETF 于 2008 年成立了一个新的工作组 ROLL(Routing over Low-power and Lossy Network)。经过研究,ROLL 工作组研究制定了 RPL(Routing Protocol for LLN)协议,RPL 路由协议对于无线个域网的发展至关重要,RPL 路由协议目前还处于草案阶段,仅是一个工作组文稿(draft-ietf-roll-rpl),此处拟对其进行分析和研究。

1 6LoWPAN 的协议体系^[3]

由于 IPv6 对内存和带宽的要求很高,要降低它的运行环境以适应微控制及低功率无线连接是比较难办的事情。因此需要对传统的协议栈进行精简和轻量化以适应无线个域网的特点。6LoWPAN 工作组制定的

收稿日期:2013-02-20;修回日期:2013-04-21.

* 基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK2010293).

作者简介:李树军(1980-),男,重庆潼南人,讲师,从事计算机网络研究.

IPv6 协议体系数据链路层和物理层符合 IEEE802.15.4 协议规范,在网络层和数据链路层中加入了一个 6LoWPAN 适配层来完成数据转换工作。

图 1 所示为基于 IPv6 无线个域网的协议体系示意图。链路层和物理层使用现在已经被广泛接受和使用的 IEEE 802.15.4 协议。为了能够在网络层使用 IPv6 协议,在链路层和网络层之间加入了一个 6LoWPAN 适配层来进行报头压缩和数据包的拆包。路由使用 RPL 路由协议。RPL 路由协议通过交换 3 种 ICMPv6 控制消息来建立路由。传输层使用的是轻量级的 TCP、UDP 以及经过修改的 ICMPv6。应用层现在还处于研究阶段。

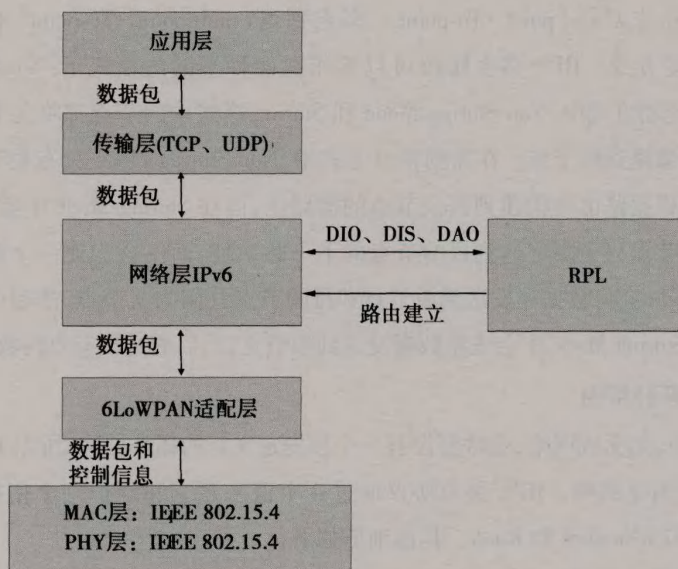


图 1 6LoWPAN 协议体系

2 RPL 路由协议概述

2.1 RPL 路由协议的制定背景

低功耗数据易丢失网络(LLN)由很多嵌入式设备组成,通常这些设备的能量、存储量和处理能力都有限。这些设备之间通过好多不同的无线技术连接到一起,比如:IEEE 802.15.4、蓝牙和 WiFi 等。LLN 的应用领域很广泛,包括工业控制、楼宇自动化、智能家居、医疗、环境监测、城市传感网、资产跟踪等。低功耗数据易丢失网络的一些特点决定了它的路由具有特定的要求。

ROLL 工作组于 2008 年 2 月成立,致力于制定低功耗网络中 IPv6 路由协议的规范。ROLL 工作组首先评价了现有的路由协议,如:OSPF、IS-IS、AODV、OLSR 等。结果显示现有的一些路由协议不能很好地满足低功耗易丢失网络的路由要求。于是 ROLL 工作组开始制定新的能够满足低功耗易丢失网络的路由要求的路由协议。ROLL 工作组详细地调研了所关注领域的路由要求后提交了 4 个 RFC 文档(RFC 5548、RFC 5673、RFC 5826、RFC5867),分别对上述几个领域的路由要求做了具体的说明。然后根据这些路由要求,该工作组制定了 RPL 路由协议(IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks)。现在 RPL 路由协议还处于草案阶段,最新版本是第 19 版。

2.2 RPL 路由协议工作原理和功能

RPL 路由协议是一个基于 IPv6 的距离矢量路由协议。它通过一个目标函数(Objective Function)和一

些路由代价及路由约束建立一个目标导向的有向无环图 DODAG (Destination Oriented Directed Acyclic Graph)。每个 DODAG 中的节点(根节点除外)会选择—个父节点作为沿着 DODAG 向上的默认路由。目标函数通过路由代价和约束来选择—条最优的路径。一个节点上可以有好多不同的目标函数,因为同一个节点可以部署到不同的环境中去。有的应用环境要求用期望传输次数 ETX (Expected Transmissions) 作为路由代价,有的应用环境需要用延迟作为路由代价。当一个 RPL 节点获得—个 IPv6 地址后(通过 DHCPv6 动态获得或者静态指定),会通过和周围的节点交换 3 种 ICMPv6 消息(DIS, DIO 和 DAO)以选择自己父节点来加入—个目标导向的有向无环图^[4,5]。

RPL 路由协议支持点对点(point-To-point)、多点到点(multipoint-To-point)和点到多点(point-To-multipoint)3 种数据流动方式。RPL 路由协议可以工作在两种不同的模式下:Non-Storing Mode 和 Storing Mode。在多点到点的流动方式中,Non-Storing Mode 和 Storing 模式中的节点都将父节点作为默认的下一跳路由,通过父节点转发数据到根节点。在点到多点方式中,Non-Storing Mode 只有根节点存有到下面节点的路由表,所以根节点会根据路由表构建到其余节点的源路由,而在 Storing Mode 中除了根节点,其余节点也会存有路由表,所以根节点只会决定达到目的节点的下一跳地址,而不会构建—个源路由。在点到点流动方式中,Non-Storing Mode 会将数据先发送到源节点和目的节点共同的父节点,然后通过父节点将数据转发到目的节点。但是在 Storing Mode 中会先将数据发送到根节点,然后通过根节点将数据发送到目的节点。

2.3 RPL 路由协议的拓扑结构

低功耗易丢失网络,如无线网络,通常都没有—个预先定义好的拓扑结构,所以 RPL 路由协议需要发现连接,然后建立和维护拓扑结构。RPL 路由协议通过 4 个值来建立和维护—个拓扑结构:RPLInstanceID、DODAGID、DODAGVersionNumber 和 Rank。具体细节如下:

(1) RPLInstanceID:—个 RPLInstanceID 指定了—个或者几个 DODAG。RPLInstanceID 相同的节点使用相同的目标函数。然后是 DODAGID, —个 RPL Instance 中有—个或者多个 DODAG, 每个 DODAG 有—个唯一的 DODAGID。DODAGID 的范围是—个 RPL Instance。—个 RPLInstanceID 和—个 DODAGID 唯一的确定了一个 DODAG。如图 2 中整个图作为—个 RPL Instance, RPLInstanceID 为 1。这个 RPL Instance 中有 3 个 DODAG, DODAGID 分别为 1, 2, 3。RPLInstanceID=1 和 DODAGID=1 就唯一地代表最左边的—个 DODAG。图中标注的节点为 DODAG 根节点, DODAG 根节点通过骨干网连接到路由器,然后再由路由器连接到传统的有线网络中去。

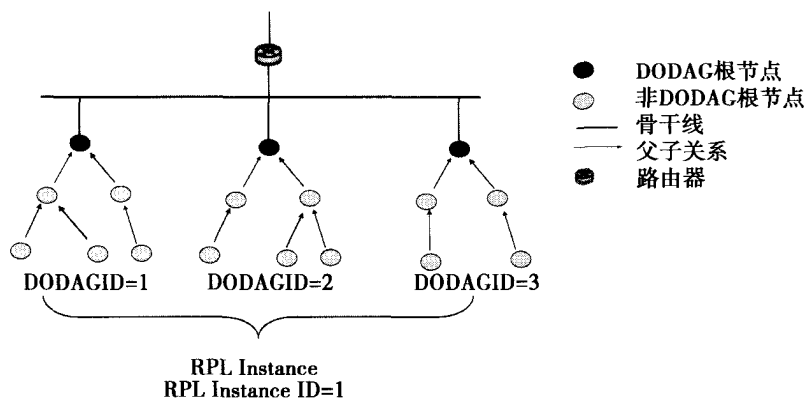


图 2 RPL Instance

(2) DODAGVersionNumber: 节点通常会因为自身的原因(如节点电池耗尽)或者环境原因而失去作用,结

果导致 DODAG 的拓扑结构发生变化。因此路由协议必须维护 DODAG 的拓扑。RPL 路由协议通过 DODAGVersionNumber 来定义不同 DODAG 的拓扑版本,当 DODAG 因为某种原因重新建立的时候,变成另外一个拓扑版本的时候,DODAGVersionNumber 会加 1。如图 3,左边 DODAG 的版本号 DODAGVersionNumber 为 N ,当拓扑结构发生变化的时候,DODAG 的版本号 DODAGVersionNumber 变成了 $N+1$ 。

(3) 节点的 Rank 值(图 4)。Rank 值的作用范围是一个 DODAGVersionNumber,当 DODAGVersionNumber 变化的时候,节点会重新计算 Rank 值。Rank 值的大小代表了改节点距离根节点的距离,Rank 值越小说明距根节点越近。DODAG 根节点的 Rank 值为 0,父节点的 Rank 值大于子节点的 Rank 值。Rank 值可以用来避免路由回环和进行路由回环检测。一个节点 Rank 值由目标函数来计算。但值得注意的是 Rank 值不是一个路径代价,尽管 Rank 值可以通过路径代价得到。

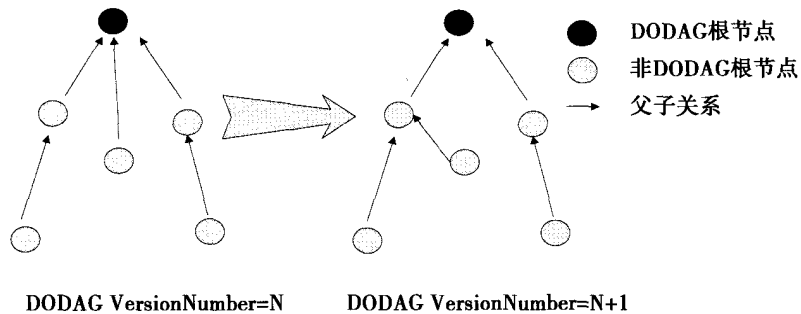


图 3 DODAGVersionNumber

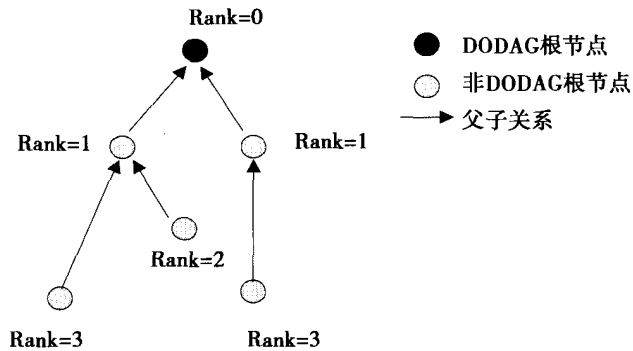


图 4 DODAG Rank 值

3 RPL 路由协议的建立过程

运行 RPL 路由协议的节点之间通过交换 DIO、DIS 和 DAO 3 种 ICMPv6 控制消息来建立拓扑和路由。整个过程分成两个过程。第一个过程是拓扑结构的建立和向上路由的建立,第二个过程是向下路由的建立。在建立向下路由的时候存在两种模式:Storing Mode 和 Non-Storing Mode。下面以图 5 所示的网络节点进行说明:

(1) 拓扑建立和向上路由的建立

在最开始的时候,一些节点会被指定为 DODAG 根节点。当根节点工作后会向周围节点发送 DIO 消息。DIO 消息中包含 RPLInstanceID、DODAGVersionNumber、DODAGID、根节点 Rank 值、RPL 路由协议工作的模式、DODAG 的配置信息、路由代价以及通过根节点可以达到的地址等。因为一个 RPL Instance 中可能有好几个根节点,所以一个节点可能接收到多个根节点发送过来的 DIO,这个时候节点会根据 DIO 中的路由代价

信息使用目标函数选择自己的父节点,然后计算出节点自己的 Rank 值。然后该节点修改 DIO 中的路由代价和 Rank 值信息后向自己周围的节点发送 DIO 数据包。同理其余的节点可能会同时接收到好多节点给它发送的 DIO,接着节点用 DIO 数据包中包含的路由代价信息使用目标函数从发送 DIO 的众多节点中选择一个节点作为自己的父节点,然后节点修改路由代价、Rank 值等后再向它周围的节点发送 DIO。这样所有节点都知道自己的父节点了,DODAG 中的节点会将父节点作为路由时默认的下一跳节点,因此当 DODAG 中的节点向上发送数据的时候,就将数据包发送给父节点,然后通过父节点转发数据。

如图 5 所示,第一个图为最开始的时候,节点 0 和节点 1 为根节点。节点 2 和节点 3 在节点 0 的通信范围内,节点 3 和节点 4 在节点 1 的通信范围内。第二个图,根节点开始向周围的节点发送 DIO。节点 2 收到节点 0 的 DIO,节点 3 同时收到节点 0 和节点 1 的 DIO,节点 4 收到节点 1 的 DIO。显然节点 2 和节点 4 分别选择了节点 0 和节点 1 作为自己的父节点,因为它们只收到了一个 DIO。节点 3 通过目标函数计算选择了节点 0 作为自己的父节点。此时 RPL Instance 的状态就到了第三个图,节点 2、节点 3 和节点 4 修改路由代价及 Rank 值能信息后再向自己的周围节点转发 DIO,如图所示节点 2 给节点 5 和节点 6 发送了 DIO,节点 3 和节点 4 都给节点 6 发送了 DIO。最后节点 5 将节点 2 当作父节点,而节点 6 通过目标函数选择了节点 4 作为父节点。到此时整个拓扑结构都建立起来了。当节点 5 要向节点 0 发送数据的时候,会将数据默认发给其父节点 2,然后通过节点 2 转发给节点 0。但是此时如果节点 0 要给节点 5 发送数据,节点 0 还不知道发送的路径。因为此时向下的路由还没有建立。

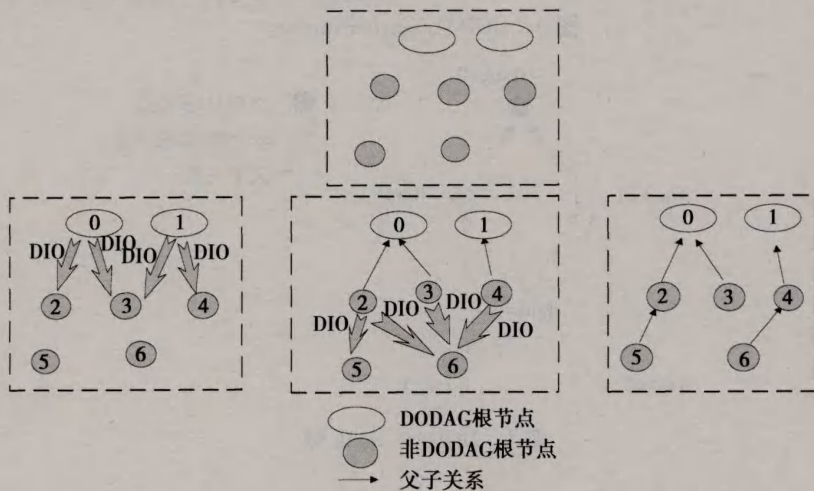


图 5 路由协议建立过程描述

(2) 向下路由的建立

向下路由的建立有两种模式:Storing Mode 和 Non-Storing Mode。在 Storing Mode 中所有节点上都会保存有向下的路由表,而在 Non-Storing Mode 模式中只有根节点保存向下的路由表。

在 Storing Mode 下,一个节点收到 DIO 消息选择好父节点后,会向父节点发送 DAO。DAO 消息中包含了通过该节点可以达到的地址或者地址前缀信息。当父节点收到 DAO 后会处理 DAO 消息中的地址前缀,然后在路由表中加入相应的路由项。当父节点做完这些后就会向它的父节点发送 DAO 数据包。如此重复直到整个向下的路由建立起来。

在 Non-Storing Mode 下,一个节点收到 DIO 消息后不是向父节点发送 DAO,而是向 DODAG 根节点发送 DAO。当然必须要通过父节点转发。当根节点收到所有节点发送过来的 DAO 消息后,就会建立到所有节点

的路由表。当根节点要向下面的节点发送数据包的时候,根节点根据路由表构建源路由。

4 总 结

6LoWPAN 技术得到学术界和产业界的广泛关注,如美国加州大学伯克利分校(Berkely)、瑞士计算机科学院(Swedish Institute of Computer Science),以及思科 Cisco、霍尼韦尔 Honeywell 等知名企业,并推出相应的产品。6LoWPAN 协议已经在许多开源软件上进行了实现。其中 RPL 路由协议的实现部分,最著名的是 Contiki 中的 ContikiRPL 和 Tinyos 中的 TinyRPL,对它们进行的各项测试表明,RPL 路由协议从原理设计到实现,基本满足家庭自动化、工业控制、城市应用和楼宇自动化等应用场景对路由的要求^[6]。

参考文献:

- [1] WIRIPEDIA. 6LOWPAN[EB/OL].<http://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN>, 2011
- [2] 百度百科.6LOWPAN[EB/OL].<http://baike.baidu.com/view/1748420.htm>, 2011
- [3] WINTER T, THUBER P. Thubert. IPv6 Transition[S]. <http://tools.ietf.org/html/rfc6550>, 2012
- [4] 朱琳,高德云,罗洪斌.无线传感器网络的 RPL 路由协议研究[J].计算机技术与发展,2012(8):1-4
- [5] CHEN Y B, CHANET J P, HOU K M. RPL Routing Protocol a Case Study: Precision Agriculture[C], First China-France Workshop on Future Computing Technology (CF-WoFUCT 2012), 2012
- [6] KO J G, ERIKSSON J, TSIFTERS N, et al. ContikiRPL and TinyRPL: Happy Together[J]. IPSN'11, 2011

Research on 6LoWPAN-based RPL Routing Protocol

LI Shu-jun

(School of Information Science and Technology, Yancheng Teachers College, Jiangsu Yancheng 224002, China)

Abstract: The protocol architecture of wireless personal area network is introduced, and based on this, the development of background, the status quo of relevant standards and role of RPL routing protocol are discussed. the RPL routing protocol related terms, working principle and the topological structure are in detail introduced. Finally, by example, how to generate the upward routes and downward routes by using three control messages by RPL routing protocol is introduced and the similarities and differences of down route creation mode of both Storing Mode and Non-Storing Mode are analyzed.

Key words: RPL; wireless personal area network; routing protocol; sensor network

责任编辑:代小红

校 对:李翠薇