

IPv6 无线传感网负载均衡路由协议研究

胡婷婷,秦雅娟,高德云

(北京交通大学 电子信息工程学院,北京 100044)

摘要:随着 IPv6 无线传感器网络技术的不断发展及其在应用领域的不断扩大,实际部署的网络呈现出大规模、低功耗、有损等网络特点。为此,IETF 提出了一种低功耗有损网络路由协议—RPL。然而 RPL 协议并没有考虑多个汇聚节点间的负载均衡,容易造成部分汇聚节点由于负载过重产生拥塞甚至失效,从而降低网络吞吐量。文中基于 RPL 路由协议,提出了一种基于多汇聚节点的 IPv6 无线传感网负载均衡路由协议—LB-RPL。实验结果表明,文中设计的路由协议通过少量的协议额外开销,可以提高大规模网络的整体吞吐量。

关键词:IPv6 无线传感器网络;负载均衡;低功耗有损网络路由协议;多汇聚节点

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)07-0027-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.006

Research on Multi-sink Load-balanced Routing Protocol for IPv6 Wireless Sensor Networks

HU Ting-ting, QIN Ya-juan, GAO De-yun

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University,
Beijing 100044, China)

Abstract: Nowadays, with the continuous development of IPv6 wireless sensor network technology and its constantly expanding applications, the actual deployed network showing the features of large-scale, low-power and lossy. For this reason, IETF proposed a low-power lossy network routing protocol RPL. However RPL protocol does not consider load balancing among multiple aggregation nodes, which likely to cause partial aggregation nodes congest or even failure due to overload, thus reducing the network throughput. Based on RPL, a load balancing routing protocol of IPv6 multi-sink wireless sensor network called LB-RPL is proposed in this paper. Experimental results show that the proposed routing protocol can improve the overall throughput of large-scale networks by only increasing small amount of protocol overhead.

Key words: IPv6 wireless sensor networks; load balancing; RPL; multi-sink node

0 引言

微型传感器节点以自组织的方式构成的无线传感器网络^[1-3](Wireless Sensor Network, WSN)被广泛地应用于军事、环境监测、工业控制、智能家居、城市交通和现代化农业等领域^[4]。针对 WSN 功率、存储空间、处理能力等资源受限的特点,IETF 在 RFC6551^[5]中提出了一种低功耗有损网络(Low power and Lossy Network, LLN)路由协议 RPL^[6]。为满足大规模 LLN 应用需求,通常需要部署多个汇聚节点(sink)。然而,随着网络通信数据量的增大,有可能导致某个 sink 节点

过载或者失效,造成部分节点通信中断。因此,仅靠增加 sink 节点数量并不能彻底解决网络负载不均衡带来的问题。

目前有很多关于如何均衡多个 sink 节点之间负载的研究。可以简单概括为以下两类:基于移动 sink 节点的负载均衡^[7-9]和基于固定 sink 的负载均衡^[10-12]。基于移动 sink 的负载均衡路由协议由于 sink 的移动性,容易造成路由的频繁更新与重建,从而带来额外的能源消耗和端到端的时延,因此一般采用固定 sink 的方法。基于能耗和开销的考虑,目前几种负载均衡路由协议不能直接应用于低功耗有损的无线

收稿日期:2014-08-21

修回日期:2014-11-27

网络出版时间:2015-06-23

基金项目:国家科技重大专项(2012ZX03005003)

作者简介:胡婷婷(1990-),女,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;秦雅娟,博士,教授,研究方向为无线传感器网络、移动互联网;高德云,教授,研究方向为无线传感器网络、移动互联网。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1028.012.html>

传感器网络的环境中。文中在 RPL 路由协议的基础上,结合目前存在的几种负载均衡的策略,提出一种基于 RPL 的多 sink 负载均衡路由协议(LB-RPL)。LB-RPL 路由协议将负载均衡的控制信息添加到 RPL 路由信息交互数据包中,引入较少的控制开销,在保证网络可靠性和有效性的同时,通过均衡网络的负载,能有效地提高网络整体吞吐量,延长网络的生存时间。

1 低功耗无损网络的路由协议 RPL

RPL 路由协议是一种距离向量路由协议,该路由协议的路由选择限制和度量标准在 IETF RFC6551 中被定义。RPL 通过构建有向无环图(DODAG)来形成网络拓扑^[13-14]。DODAG 的构建由 sink 节点或者边界路由器发起,流程如图 1 所示。

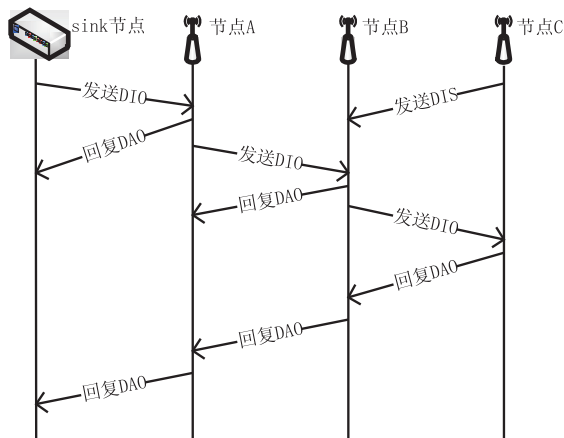


图 1 DODAG 构建流程图

DODAG 构建具体步骤如下:

- sink 节点首先广播 DIO 信息(DODAG Information Object);
- 节点 A 收到 sink 节点发送的 DIO 信息,根据获取的 DODAG 信息,判断是否加入该 DODAG,并决定是否选取 sink 节点作为最优父节点;
- 如果节点 A 决定加入该 DODAG,则将 sink 节点添加到自己的父节点列表中,并回复带有自身路由前缀信息的 DAO 消息(DODAG Destination Advertisement Object)给 sink 节点,sink 节点收到该 DAO 后建立到节点 A 的向下路由;
- 节点 A 加入 DODAG,更新相应信息后开始周期性广播 DIO 信息,节点 B 收到该 DIO 信息,重复节点 A 的处理过程;
- 节点 C 由于一段时间内没有收到任何 DIO 信息,于是主动发起 DIS 请求信息(DODAG Information Solicitation);
- 节点 B 收到节点 C 的请求信息后单播 DIO 信息给 C,节点 C 收到该 DIO 信息后将 B 节点加入父节

点列表,并回复 DAO 信息;

· 节点 B 将自己及子节点 C 的路由前缀信息整合后发送给父节点 A,父节点 A 同样也将自己及其子节点的路由前缀信息发送给 sink 节点,至此 sink 节点获取所有节点路由前缀信息,DODAG 构建结束。

路由度量是计算路径损失时的一个重要标准,最佳下一跳是在给定的路由度量前提下计算出满足限制条件的路径开销最小的一跳。RPL 的路由度量标准和限制条件由目标函数(OF)定义,并通过 DIO 在 DAG 中被传送。目前定义了两种基于不同度量的 OF 函数,这两种度量标准为期望接收数据(ETX)和跳数(HP)。基于这两种度量标准建立的路由在存在多个 sink 节点时不能均衡网络负载,容易造成某些 sink 节点过载,从而导致整个网络吞吐量的降低。

2 多 sink 负载均衡路由协议 LB-RPL

文献[8]中提出通过 sink 节点实时监测网络的拓扑信息和状态信息,并且向网络广播,这样全网的节点都能知道网络的拓扑和状态信息,从而在选路时能做出使得网络负载均衡的路由选择。文中基于以上思路,并结合传感器网络的特点,提出一种基于 RPL 的多 sink 负载均衡路由协议。考虑多 sink 的网络模型,网络中由多个 sink 和传感器节点组成,sink 和传感器节点根据应用需求随机部署,节点以均匀的速率将数据信息汇聚给 sink 节点,并由 sink 节点将数据发送给网关处理。在网络初始化阶段,sink 节点广播 DIO 信息来通告构建 DODAG 所需的参数,接收到 DIO 信息的节点根据定义的 OF 函数计算自己的 Rank 值,同时选取 Rank 最小的 DIO 发送者作为自己的父节点,并且更新相应的 DIO 信息,进行转发,直至所有的传感器节点都加入某一 DODAG 图。然而由于初始化过程并没有考虑负载均衡,构建出的 DODAGs 拥有不同的网络负载,如图 2 左所示。网络初始化完成后,以节点 S_1 为 sink 节点构建的 DODAG 图中包含了 15 个节点,以节点 S_2 为 sink 节点构建的 DODAG 图包含了 7 个节点,两个 DODAG 图包含的节点数量相差大,造成了负载不均衡。

文中提出的 LB-RPL 中提供了一种 sink 流量监测机制。网络初始化完成后,sink 启动该监测机制,计算单位时间内接收到的信息数据包数量,并将该信息作为负载度量值 F 发送至网关节点。网关接收并检测所有 sink 发送过来的数据流量值。一旦检测到某一 sink 节点 $S_i (i = 0, 1, 2, \dots)$ 目前数据流量 F_i 高于预先设定的阈值,认为该 sink 过载,发送控制信息给 sink 节点 S_i , S_i 接收到网关的信息后将在 DIO 信息中添加警告信息,使得处于中间区域的节点选取其他 sink 节点没

有过载的 DODAG 中的节点作为父节点,如图 2 所示。如果监测到 sink 节点 S_1 过载,那么位于两个 DODAG 图中间区域虚线框中的节点将做出相应调整,该区域内某些节点将移除当前 DODAG 图,并重新选择以 S_2 为 sink 节点的 DODAG 图中的节点为父节点。

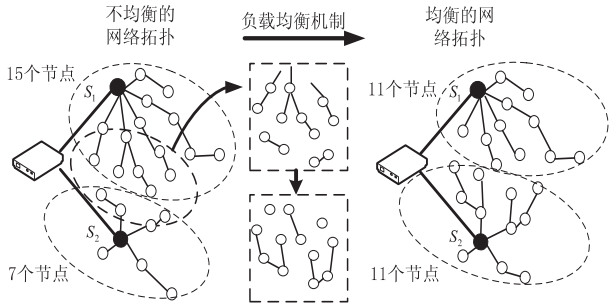


图2 负载均衡机制下网络拓扑变化

警告信息通过在 DIO 中扩展选项部分添加警告扩展选项实现,警告扩展选项设置了以下几个字段。

- 警告选项:1 字节,设置为 0x98,用以区别其他扩展选项。
- 选项长度:2 字节,该选项长度根据 DIO 消息的扩展选项长度设定,表示扩展选项数据部分的长度。
- 警告级别:1 个字节,警告选项的数据部分,用来指示当前 sink 的过载级别。

LB-RPL 路由协议中 sink 节点工作总体流程分为初始化部分和负载均衡部分,如图 3 所示。

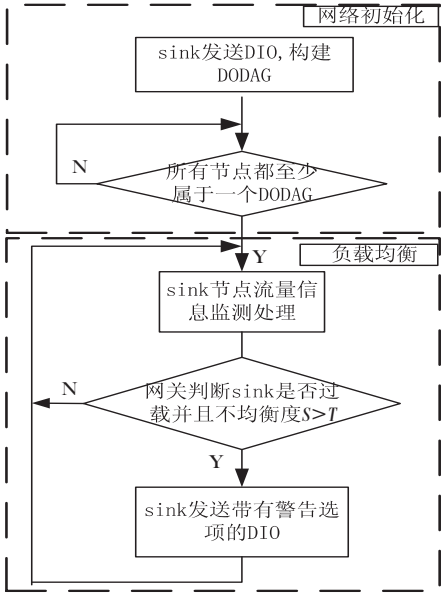


图3 sink 节点工作流程

- 其中,sink 节点流量信息监测处理包括三个步骤:
- (1) 流量信息采集:一旦网络初始化完成,sink 节点开始监测接收的数据流量状态信息;
 - (2) 流量信息汇聚:sink 定期将自己的流量信息发送至网关节点;
 - (3) 网络负载不平衡度计算:网关节点计算网络的不平衡度 S ,作为判断网络负载失衡的标准。

普通节点一旦接收到带有警告信息的 DIO 信息,首先判断本地是否存在其他 DODAG 的信息,如果没有则忽略;否则判断自身在 DODAG 中的深度,是否满足切换条件,如果深度大于设定的阈值,则进行 DODAG 切换。可以根据 DIO 警告信息的警告级别调整深度阈值。设置深度阈值是为了防止处于较低深度的节点进行切换,由于其可能带有大量子节点,将带来网络拓扑的剧烈变化,因此在选取切换节点时通过深度阈值,保证进行 DODAG 切换的节点不带有子节点或者带有较少子节点。

为了防止部分在两个 DODAG 中间的节点来回进行父节点切换,产生网络震荡,设置切换阈值 T ,用来决定节点是继续留在原 DODAG 中还是加入其他 DODAG。网关通过计算网络不平衡度并和切换阈值进行比较决定是否通知 sink 节点启动负载均衡机制。

网络的不平衡度计算公式如(1)所示,公式中 $F_n(n = 1, 2, 3, \dots)$ 代表第 n 个 sink 流量负载值, \bar{F} 代表所有 DODAG 中 sink 流量负载的平均值, s 值代表了网络负载的不平衡度。

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}[(F_1 - \bar{F})^2 + (F_2 - \bar{F})^2 + \dots + (F_n - \bar{F})^2]}$$

(1)

3 协议验证

3.1 场景和参数

文中提出一种 IPv6 无线传感网负载均衡路由协议(LB-RPL)在自主开发的 Contiki 微型传感器节点上进行了实现。搭建的网络拓扑如图 4 所示。

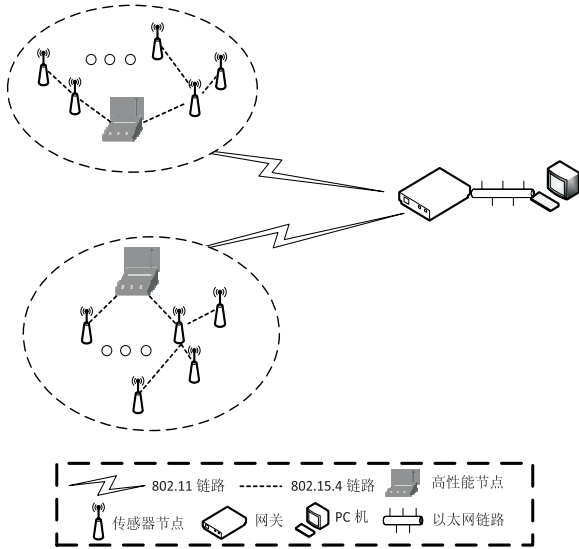


图4 测试系统网络拓扑

为了实验测试,初始阶段,所有传感器节点以相同的速率(1 packet/s)和功率(-17 dbm)发送数据包,

sink 节点由交流供电,将收集的传感数据信息通过 802.11 链路发送至网关。网接收信息并通过以太网发送给服务器,最终由服务器统一处理整个网络的传感信息。

3.2 实验结果

实验中 RPL 和 LB-RPL 路由协议的控制开销通过单位时间内抓取的控制包的数量来对比,结果如图 5 所示。

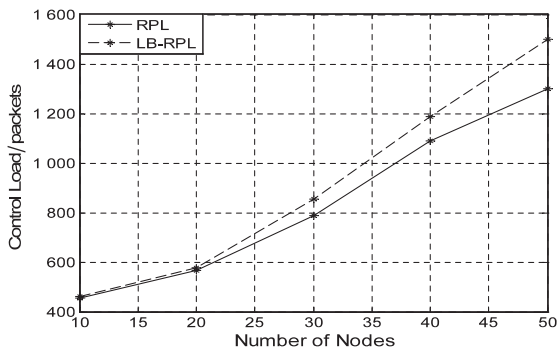


图 5 RPL 和 LB-RPL 协议控制开销比较

图 5 表明,当网络中节点数较少时,不会触发负载均衡机制,LB-RPL 不会引起额外的控制开销。随着节点数增多,网络规模的增大,负载均衡机制开始起作用,单位时间内统计的平均控制开销增加,但是相对网络总的控制开销,增加的控制开销几乎可以忽略。

RPL 和 LB-RPL 路由协议吞吐量比较如图 6 所示。

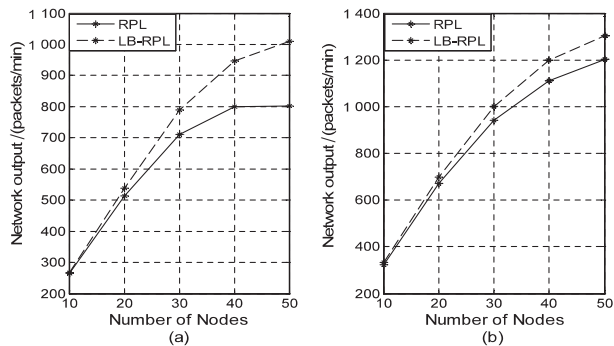


图 6 RPL 和 LB-RPL 路由协议吞吐量比较

图 6(a)为选取了 2 个 sink 节点的测试结果,图 6(b)为选取了 5 个 sink 节点的测试结果。可以看出,在相同的网络规模下,sink 节点布置得越多,整体网络吞吐量越高。并且测试结果表明,随着节点数的增加,网络规模的增大,LB-RPL 路由协议在提高网络吞吐量方面的优势越来越明显。

综上所述,LB-RPL 路由协议通过引入少量的控制开销,实现了负载均衡机制,提高了网络的整体吞吐量。

4 结束语

文中针对 IPv6 低功耗无损无线传感器网络,提出

了一种基于多 sink 节点的负载均衡路由协议 LB-RPL,该路由协议基于 RPL 协议实现。在网络完成初始化后,sink 节点进行负载监测,网关进行整个网络负载信息的处理,一旦发现网络的负载不均衡,触发负载均衡机制,最终达到了以控制开销的少量增加,均衡无线传感器网络 sink 节点之间的负载,提高整个网络的吞吐量的目的。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 张宏科,梁露露,高德云. IPv6 无线传感器网络的研究及其应用[J]. 中兴通讯技术,2009,15(5):37-40.
- [3] 朱燕,黄明科. 物联网的发展和应探讨[J]. 电信网技术,2010(11):34-37.
- [4] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y. Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [5] Vasseur J P, Pister K M, Dejean N, et al. Routing metrics used for path calculation in low power and lossy networks[S]. IETF RFC 6551, 2012.
- [6] Winter T. RFC6550 RPL: routing protocol for low power and lossy networks[S]. USA: Internet Engineering Task Force, 2012.
- [7] Korbi I E, Brahim B, Adjih M, et al. Mobility enhanced RPL for wireless sensor networks[C]//Proc of third international conference on network of the future. [s. l.]: [s. n.], 2012: 21-23.
- [8] Soyuturk M, Altılar T. A routing algorithm for mobile multiple sinks in large-scale wireless sensor networks[C]//Proc of the 2nd international symposium on wireless pervasive computing. [s. l.]: [s. n.], 2007.
- [9] Huang Qing, Bai Yong, Chen Lan. An efficient route maintenance scheme for wireless sensor network with mobile sink[C]//Proc of the IEEE 65th vehicular technology conference. [s. l.]: IEEE, 2007.
- [10] 尹安,汪秉文,胡晓娅,等. 无线传感器网络负载均衡路由协议[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2010(1):88-91.
- [11] 陈志奎,倪晶晶,姜国海,等. WSN 中一种基于剩余能量级别的负载均衡路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2010(12):82-86.
- [12] Wang Chunping, Wu Wei. A load-balance routing algorithm for multi-sink wireless sensor networks[C]//Proc of international conference on communication software and networks. [s. l.]: [s. n.], 2009: 380-384.
- [13] 宋菲,侯乐青. 浅析智能物件网络中的 RPL 路由技术[J]. 电信网技术, 2011(9): 23-26.
- [14] 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, 22(8): 1-4.

IPv6无线传感网负载均衡路由协议研究

作者：[胡婷婷](#)，[秦雅娟](#)，[高德云](#)，[HU Ting-ting](#)，[QIN Ya-juan](#)，[GAO De-yun](#)
作者单位：[北京交通大学 电子信息工程学院, 北京, 100044](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(7)

引用本文格式：[胡婷婷](#). [秦雅娟](#). [高德云](#). [HU Ting-ting](#). [QIN Ya-juan](#). [GAO De-yun](#) [IPv6无线传感网负载均衡路由协议研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(7)