

无线传感器网络分层路由协议研究

杨菊英, 吕光宏

(四川大学 计算机科学与技术学院, 四川 成都 610064)

摘要:路由协议是 WSN 研究中富有挑战性的问题。由于 WSN 自身的特点和通信需要, 现有的无线自组网和互联网路由协议不适在 WSN 中运行, 无线传感器网络路由协议以节约能源为首要目标, 并采用折中机制, 使用户可以在延长网络生存期和提高网络吞吐量、降低延迟时做出选择。无线传感器网络路由协议包括平面和分层路由协议两大类, 文中介绍几种典型的分层路由协议, 并根据路由性能指标进行了分析和比较, 并指出了下一步的研究方向。

关键词:无线传感器网络; 路由协议; 生存期; 簇

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)06-0115-04

Study of Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Network

YANG Ju-ying, LÜ Guang-hong

(School of Computer Science and Information, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: In search of WSN, routing protocol is a problem with challenges. The existing Ad-hoc and Internet protocol can't be directly applied to WSN because of its characters. One aim of WSN protocols is saving power and it takes advantage of compromise mechanism to prolong lifecycle, throughput and decrease delay. According to nodes based on each protocol's working principles, WSN routing protocols can be classified into flat and hierarchical. Analyzes and contrasts several basic hierarchical routing protocols.

Key words: wireless sensor network; routing protocol; lifecycle; cluster

0 引言

无线传感器网络 (WSN)^[1]是一种由成千上万的微传感器构成的具有动态拓扑结构的自组织网络。针对 WSN 节点能量受限、网络拓扑动态变化等特点, 从 1999 年起, 国外科研人员设计了多种面向 WSN 的路由协议。根据网络的逻辑结构, 分为平面路由协议和分层路由协议两种。

平面路由中, 所有节点地位平等, 通过局部操作和反馈信息来生成路由。在这类协议中, 目的节点 (sink) 向监测区域的节点 (source) 发出查询命令, 监测区域内的节点收到命令后, 向目的节点发送所需的监测数据。平面路由协议简单、鲁棒性较好, 但缺乏对通信资源的优化管理, 对网络动态变化的反应速度较慢, 而在分层路由协议中, 整个网络通常划分成相连的区域, 每一个区域称为一个簇 (Cluster)。每个簇由一个簇头 (Cluster head, CH) 和多个簇内成员 (Cluster members, CN) 组成, 低一级网络的簇头是高一级网络中的

簇内成员, 由最高层的簇头与目的节点或基站通信。分层路由适合大规模的无线传感器网络环境, 可扩展性好。但簇首节点的可靠性和稳定性对全网性能影响较大, 信息的采集和处理也会大量地消耗簇首的能量。

LEACH 是 WSN 中第一个分层路由算法, 它的思想引发了很多的路由协议的产生, 如 TEEN, PEASIS 等。

1 几种典型的分层路由协议

1.1 LEACH

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 协议^[1~5]由 MIT 的 Chandrakasan 等人提出, 它是第一种基于分簇结构和分层技术的无线传感器网络协议, 在无线传感器网络路由协议中占有重要地位, 其它基于分簇的路由协议如 TEEN, APTEEN, PEGASIS 等大都由 LEACH 发展而来。仿真表明, LEACH 与一般的平面多跳路由协议和静态分层算法相比, LEACH 可以将网络生命周期延长 15%。

LEACH 的操作分成“轮” (Round) 来进行, 每一轮具有两个运行阶段: 簇建立阶段 (Set-up Phase) 和簇稳定运行阶段 (Steady-state Phase)。为减少协议开

收稿日期: 2007-10-03

作者简介: 杨菊英 (1978-), 女, 四川绵阳人, 硕士研究生, 研究方向为无线传感器网、无线移动自组网; 吕光宏, 教授, 博士, 研究方向为光网络、无线传感器网等。

销,稳定运行阶段的持续时间要长于簇建立阶段。

在簇建立阶段,将所有节点划分为若干簇,每个簇随机选举一个簇头。随机性确保簇头与 Sink 点之间数据传输的高能耗成本均匀地分摊到所有传感器节点。具体产生机制是:每个传感节点生成 0, 1 之间的随机数,如果选定的值小于某一个阈值 T , 则选该节点为簇头。 T 计算方法如下:

$$T = \frac{p}{1 - p[r \bmod (1/p)]}$$

其中, p 为节点中成为簇头的百分数(如 0.05), r 是当前的轮数。

选定簇首节点后,通过广播告知整个网络。网络中的其他节点根据接收信息的信号强度决定从属的簇,并通知相应的簇首节点,完成簇的建立。最后,簇首节点采用 TDMA 方法为簇中每个节点分配向其传送数据的时间片。

在稳定阶段中,传感器节点将采集的数据传送到簇首节点。簇首节点对簇中所有节点所采集的数据进行融合后再传送给汇聚点。稳定阶段持续一段时间后,网络重新进入簇的建立阶段,进行下一回合的簇重构,不断循环。每个簇采用不同的 CDMA 代码进行通信来减少其他簇内节点的干扰。

LEACH 协议的特点^[1,5]:

(1)簇首节点融合簇内不同源节点所产生的数据,并发送到汇聚点,以减少传送到汇聚点的数据。

(2)LEACH 采用基于 TDMA/CDMA 的 MAC 层机制来减少簇内和簇间的冲突。

(3)该协议非常适合于要求连续监控的应用系统,因为它的数据采集是集成的和周期性的。

(4)对于终端使用者来说,由于它并不需要立即得到所有的数据,因此协议不需要周期性地传输数据,这样可以达到限制传感器节点能量消耗的目的。

(5)在给定的时间间隔后,协议重新选举簇首节点,以保证无线传感器网络获取统一的能量分布。

尽管 LEACH 能够提高网络的生存时间,但协议所使用的假设条件仍存在一些值得讨论的问题^[1]:

1)由于 LEACH 假定所有节点能够与汇聚点直接通信,并且每个节点都具备支持不同 MAC 协议的计算能力,因此该协议不适合在大规模的无线传感器网络中应用。

2)协议没有说明簇首节点的数目怎样分布才能遍及到整个网络。因此,很可能出现被选的簇首节点集中在网络某一区域的现象,这样就会使得一些节点的周围没有任何簇首。

由于 LEACH 假定在最初的簇首选择回合中,所

有的节点都携带相同的能源,并且每个成为簇首的节点都消耗大致相同的能量。因此,协议不适合节点能量不均衡的网络。

1.2 PEGASIS 与分层 PEGASIS

1.2.1 PEGASIS

PEGASIS(Power - Efficient Gathering in Sensor Information Systems)协议^[1,3,6]是在 LEACH 基础上改进设计的。主要思想是把节点构造成一条链,每一个节点都通过其邻居节点进行数据的收发,并且在该链中只有一个节点与汇聚点或基站进行通信,从一个节点到另一个节点连续性的聚集、融合数据并传输到基站,该链式路径使用贪心算法构造。如图 1,节点 C_2 被选为链首,并将链首标志向周围节点广播,收到链首标志的节点 C_0 将数据传给节点 C_1 ;节点 C_1 融合 C_0 和自己产生的数据后,将数据传送给链首;同理,节点 C_4 便将数据传送给 C_3 ,节点 C_3 融合节点 C_4 和自己的数据后将其传给 C_2 。节点 C_2 接收到两个邻居节点传送的数据后,和自己的数据融合,最终将信息传送到汇聚点。

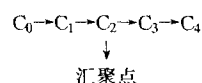


图 1 PEGASIS 的链式结构

PEGASIS 优点:减小了 LEACH 在簇重构过程中所产生的开销,并且通过数据融合降低了收发过程的次数,从而降低了能量的消耗。

PEGASIS 缺点:

(1)协议假定每个传感器节点都能够直接与汇聚点通信,而在实际情况中,传感器节点一般需要采用多跳方式到达汇聚点。

(2)PEGASIS 假定所有的传感器节点都具有相同级别的能量,因此节点很可能在同一时间内全部“死亡”。

(3)尽管协议避免了构建簇的开销,但由于传感器节点需要知道其邻居的能量状态信息以便传送数据,协议仍需要动态调整拓扑结构。对那些利用率较高的网络而言,拓扑的调整会带来更大的能源开销。

(4)协议所构建的节点链中,远距离的节点会引起过多的数据延迟,而且链首节点的唯一性使得链首会成为瓶颈。

1.2.2 分层 PEGASIS

分层 PEGASIS 协议^[1~3]是 Lindsey 等人提出的,它是对 PEGASIS 的扩展,目标是降低数据包到汇聚点传送过程中所引起的延时。该协议使具有 CDMA 传输能力的节点构成一个分层传输的节点树,在每一层选出上一层进行通信的节点,以实现数据的并行传输,并且减少延时。举例说明该协议每个回合路径选

择的过程,如图2所示,节点 C_3 在第三回合被指定为链首;假定节点 C_0 在链中的位置为0,则节点 C_3 的位置为3(奇数),那么所有处于偶数位置的节点都向右边的邻居发送数据,接收到数据的节点构成了分层结构的第二层,即节点 C_1 、 C_3 、 C_5 、 C_7 。在第二层节点中,节点 C_3 仍然处于奇数位置1,那么所有偶数位置的节点再次融合它们所接收到的数据和自身采集到的数据,并将融合后的数据发送给它们右边的邻居;在第三层中,由于节点不是奇数位置,为了保证 C_3 作为链首,节点 C_7 融合接收到的数据和自身数据并将其传给 C_3 ;节点 C_3 将当前数据和从 C_7 接收到的数据融合起来并最终传递给汇聚点。

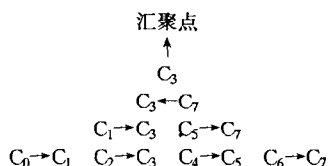


图2 PEGASIS协议的数据采集

1.3 TEEN和APTEEN

1.3.1 TEEN

TEEN协议(Threshold sensitive energy Efficient sensor Network protocol)^[1,3,7]采用与LEACH的实现机制非常相似,只是前者是响应型,而后者属于主动型传感器网络。TEEN在簇的建立过程中,随着簇首节点的选定,簇首除了通过TDMA方法实现数据的调度,还向簇内成员广播有关数据的硬阈值(hard threshold, HT)和软阈值(soft threshold, ST)两个参数。硬阈值是开始进行数据传输的最低限度,软阈值则规定被检测数据的变动范围。在簇的稳定阶段,节点通过传感器不断地感知其周围环境。当节点首次检测到数据到达硬阈值,便打开收发器进行数据传送,同时将该检测值存入节点内部变量SV中。节点再次进行数据传送时要满足两个条件:当前的检测值大于硬阈值;当前的检测值与SV的差异等于或大于软阈值。只要节点发送数据,变量SV便置为当前的检测值。一旦新一回合的簇首已经确定,该簇首将重新设定和发布以上两个参数。

TEEN协议的优点:

- (1)协议适合于需要实时感知的应用环境中。
- (2)通过设置硬阈值和软阈值两个参数,TEEN能够大大地减少数据传送的次数。
- (3)由于软阈值可以改变,监控者通过设置不同的软阈值可以方便地平衡监测准确性与系统节能性两项指标。
- (4)随着簇首的变化,用户可以根据需要重新设定两个参数的值,从而控制数据传输的次数。

TEEN的缺点:

- 1)不适合应用在需要周期性数据采集的应用系统中。
- 2)一旦没有达到门限值,节点将一直得不到通信的机会,从而用户也始终得不到任何数据甚至直到节点失效死亡。

1.3.2 APTEEN

APTEEN协议(the adaptive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)^[1,3]是TEEN协议的扩展,体现在以下几个方面:

(1)随着簇首节点的确定,簇首向簇内所有成员广播以下参数:

- ① 属性(A):用来表示用户期望获取信息的一组物理参数。
- ② 阈值:该参数由硬阈值(HT)和软阈值(ST)构成。
- ③ 调度:采用TDMA调度方式,为簇内每个节点分配相应的时间片。
- ④ 计数时间(CT):表示有一个节点成功发送报告的最大时间周期。

(2)运行APTEEN协议的节点在发送数据时会采用与TEEN相同的数据发送机制。协议规定如果节点在计数时间CT内没有发送任何数据,便强迫节点检测和向汇聚点传送数据,以改变TEEN不能在周期数据传送系统中应用的不足。

(3)为了更好地实现协议在混合网络系统中的应用,APTEEN采用了修改后的TDMA调度方法。

(4)APTEEN可以支持三种不同的查询类型,包括分析过去数据的历史性查询、快速浏览网络的一次性查询和在一段时间内持续监控某一事件的连续查询。

APTEEN协议的优点:

该协议是一种混合协议,可以根据用户需要和应用类型来改变TEEN协议的周期性和相关阈值的设定,既能周期性地采集数据又可以对突发事件做出快速反应。

APTEEN的缺点:

主要体现在构建多层簇以及设置阈值功能在实现上较为复杂,基于属性命名的查询机制会带来额外的开销。

2 路由协议的比较

理想的无线传感器网络的路由协议,在设计上首先应充分考虑节点能量有限性的特点,注重能量使用效率问题。此外,还应该根据应用的具体特点,满足以

下方面的性能要求^[1]:以数据为中心、支持数据融合、基于节点定位、具有可扩展性、鲁棒性和安全性、提供 QoS 支持。

如何提供有效的节能策略是无线传感器网络路由协议需要解决的首要问题。以数据为中心和支持数据融合是绝大多数 WSN 应用的基本要求,可扩展性和鲁棒性则是路由协议应满足的基本要求。在解决主要问题和满足基本要求的基础上,能很好地利用节点的位置信息提供安全性和 QoS 支持的路由协议将有很好的发展前景。

依据上述性能体系对文中描述的 WSN 路由协议进行比较的结果见表 1。

表 1 几种分层路由协议的比较

	LEACH	PEGASIS	分层 PEGASIS	TEEN	APTEEN
路由结构	分层(簇)	分层(簇)	分层(簇)	分层(簇)	分层(簇)
路由策略	主动	主动	主动	按需	按需和主动
提供节能策略	是	是	是	是	是
网络生存时间	好	很好	很好	很好	较好
以数据为中心	不是	是	是	是	是
有无数据融合	有	有	有	有	有
是否基于节点定位	不是	不是	不是	不是	不是
维护多条路径	否	否	否	否	否
最佳路径	不是	不是	不是	不是	不是
鲁棒性	较好	较好	较好	较好	较好
可扩展性	好	好	好	好	好
提供安全机制	否	否	否	否	否
基于 QoS 支持	否	否	否	不是	否

表中所列的 LEACH、PEGASIS、分层 PEGASIS、TEEN、APTEEN 均具有分层路由协议的特点,并且后四种都是在 LEACH 基础上改进而来的。仿真结果表明^[1~4,6]:LEACH 协议的方法比直接传输的方法节省 70% 的能量,比最小传输能量路由协议节省能量 40% ~ 80%。PEGASIS 比 LEACH 协议优秀 100% ~ 300%,分层的 PEGASIS 比传统的 PEGASIS 协议高 60%。TEEN 和 APTEEN 在能量分布和网络生存时间指标上均优于 LEACH 协议。APTEEN 的性能位于 TEEN 和 LEACH 之间。

(上接第 114 页)

actions on Intelligent Transportation Systems, 2001, 2(1): 18 - 25.

[12] Bevington, Philip R. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences[M]. New York: McGraw - Hill Book Company, 1969: 109 - 166.

[13] Hoose N, Willumsen L G. Real Time Vehicle Tracking Using the CLIP4 Parallel Processor[C]//Seminar on Information Technology in Traffic and Transport. PTRC. Summer Annual

3 结束语

目前无线传感器网络的路由协议的研究主要集中在能量效率上多方位、多角度开展的,通常运用数据命名、数据融合和节点聚类的技术。尽管在路由算法的研究方面取得了很多进展,但还有一些根本性的问题^[1,7]有待进一步研究,使网络具备更好的可伸缩性和更强的适应网络拓扑变化的能力。如:①由于大部分路由只能达到局部优化,不能实现全局最优的目标,则需要在不维护全局信息的前提下,构建能源的全局最优路由策略;②需要解决由实时应用引起的 QoS 问题,设计能量感知的 QoS 路由以保证在整个连接时间内的带宽和对能量高效路径的有效利用;③路由算法的安全与认证机制,因为目前很少有路由协议考虑安全问题;④在能量分布不均衡的前提下,构造有效的路由策略,以延长网络的生存时间。文中比较全面地分析和比较了几种分层路由协议,并为以后的研究给出了方向。

参考文献:

- [1] 于海斌,曾 鹏.智能无线传感器网络系统[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 唐 勇,周明天,张 欣.无线传感器网络路由协议研究发展[J].软件学报,2006,17(3):410 - 421.
- [3] 江 贺,刘文杰,张宪超.无线传感器网络路由协议研究进展[J].小型微型计算机系统,2007,28(4):594 - 598.
- [4] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy - Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. [s. l.]:[s. n.],2000:1 - 10.
- [5] 李 岩,张曦煌,李彦中. LEACH - EE——基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法[J]. 计算机应用,2007,27(5): 1103 - 1105.
- [6] Lindsey S, Raghavendra C S. PEGASIS: Power - efficient Gathering in Sensor Information System[C]// IEEE 2002. [s. l.]:[s. n.],2002:1125 - 1129.
- [7] 崔 莉,鞠海玲,苗 勇,等.无线传感器网络研究发展[J].计算机研究与发展,2005,42(1):163 - 174.

Meeting, IEEE. UK: University of Bath, 1987: 113 - 131.

[14] Koller D, Weber J, Malik J. Robust Multiple Car Tracking with Occlusion Reasoning[C]//Proc. Third European Conference on Computer Vision. LNCS 800. Stockholm, Sweden: [s. n.], 1994: 189 - 196.

[15] Dailey D J. A Statistical Algorithm for Estimating Speed from Single Loop Volume and Occupancy Measurements[J]. Transportation Research B: Methodological, 1999, 33(5): 313 - 322.