

文章编号:1007-2985(2011)03-0059-04

无线传感器网络能效路由协议的研究进展*

邓小飞,徐 倩,黄光亚

(吉首大学物理科学与信息工程学院,湖南 吉首 416000)

摘 要:能效是无线传感器网络路由协议研究的热点与重点.介绍了无线传感器网络能效路由协议的发展状况,分析了协议的容错性、健壮性等指标,并给出了协议的各类应用场景.结合协议的研究现状,指出了能效路由协议未来的研究方向,对无线传感器网络路由协议的研究起到一定的指导作用.

关键词:无线传感器网络;路由协议;能效

中图分类号:TN919;TP212

文献标志码:A

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是由部署在监控区域的大量微型传感器节点构成的无分区、无基础设施支持、经多跳或单跳方式通信的无线自组织网络^[1].作为一种有广泛应用前景的新型信息获取和处理技术,WSNs 的研究受到了各界的普遍推崇与青睐,其中一个研究重点和热点就是 WSNs 网络层的路由协议.研究初期,学者们认为可以将传统路由协议和 Ad-Hoc 路由协议向 WSNs 直接或稍加修改后推广.但随着研究的深入,人们逐渐认识到由于 WSNs 的一些显著特点以及与传统网络的区别,必须设计专用的 WSNs 路由协议.同时由于 WSNs 的能量、带宽受限,其路由协议首要考虑的是如何降低和均衡网络中的节点能耗,延长网络生存时间,即路由协议的能效问题.

1 能效路由协议分类

1.1 分级能效路由协议

分级能效路由协议是 WSNs 路由协议的一个研究重点,它突破了平面协议在网络可扩展性和能量管理方面的瓶颈.分级能效路由协议的有 4 大优点:通过分簇算法对 WSNs 中的节点进行层次划分、功能分配以及不同节点的相互协作,利于全网节点的能耗均衡,延长 WSNs 的生命周期.由统一的簇头完成数据融合更能提高能效性,分布式的工作方式为大型网络的拓扑管理和能量管理带来方便,特别满足大型 WSNs 对网络可扩展性的要求.同时,在网络反应时间上也具有一定的优势,适合对实时性有一定要求的场景.

LEACH 协议^[2]是 WSNs 中最早也是最有代表性的分级能效路由协议之一,其主要思想是根据传感器节点接收到的信号强度进行分簇,在簇内随机选择头节点来负责与宿节点(Sink)通信和组内的数据汇集.为了使全网的能耗均匀,簇头在每轮中都重新随机选取. LEACH 协议与 Direct 协议相比^[3],能量损耗减少 7 倍,生命周期提高 6~10 倍.与最小传输能量路由协议相比^[3],能量损耗上减少 4~8 倍.同时协议简单,个节点的网络时间计算复杂度为 $O(n)$.目前,LEACH 协议已成为 WSNs 分级能效路由协议的研究重点,国内外的许多学者展开了富有成效的工作,涌现出了几种有代表性的基于 LEACH 的改进和扩展协议.

REECR^[4](Residual Energy and Energy Consumption Rate)及其改进协议^[5](Distance-based REECC)是最早的异构网络能效路由协议之一,是 LEACH 协议在异构网的简单推广.文献^[6]指出:分簇的层数为 2~3 层时,在能效性和降低复杂度两方面都能达到最优. TEEN 协议是两层的分簇协议,主要是针对时间敏感场景设计的响应型路由协议.它的路由机制和 LEACH 协议相似,主要改进在于:TEEN^[7]协议在簇内设置硬阈值和软阈值,硬阈值用于感知与目标相关的感应特征值,软

* 收稿日期:2011-03-26

作者简介:邓小飞(1982-),女,湖南邵阳人,吉首大学物理科学与信息工程学院教师,硕士,主要从事通信与控制研究.

阈值用于触发节点进行数据传输,通过一硬一软两门限大大减少了网络通信开销. APTEEN^[8] (Adaptive Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol)改进了 TEEN 协议阈值设置不当影响通信的缺陷,是一种结合节点周期性发送信息的主动型网络和实时监测突发事件的响应型网络的混合协议,它的簇结构和 TEEN 相似,但 APTEEN 协议定义时钟 CT 以周期性的改变软硬门限增加了能耗.

1.2 数据为中心的能效路由协议

最早提出数据为中心的概念是在平面路由协议 SPIN^[9] (Sensor Protocols for Information via Negotiation)中,但 SPIN 协议采用的数据广播机制在数据冗余处理和有效传输上达不到理想效果. DD(Directed Diffusion)协议^[10]是数据为中心路由协议中里程碑式的协议.它首次提出的数据融合模式、网络梯度模型、兴趣查询机制等思想对后来的数据为中心能效路由协议影响很大,也开辟了一种以查询为背景的新的 WSNs 路由协议应用方向. EAD^[11]协议在一个网关的根广播树内构造一个包含所有活动传感器节点的虚主干用来实现能量感知路由,同时关闭所有不在这个虚主干上的传感器节点以节省能量.每个活动传感器节点将监测到的本地原始数据由远至近完成数据融合并转发给基站.为了做到全网的能量均衡,EAD 协议的邻居广播机制和邻近节点之间的分布式竞争机制都考虑了节点的剩余能量.它在中小规模(200 节点以下)网络的生命周期^[15]比 LEACH 协议延长 120%~170%、能量消耗降低 15%~40%,更适合中小型网络.但 EAD 协议基于理想信道模型和需要地理位置信息支持,应用场景受限.

分级能效路由协议存在一个明显的缺陷:簇头的选择和簇的动态形成开销很大.为了改进这个缺陷,PEGASIS^[12]协议采用了链式拓扑,链路中的每个节点由远至近融合并转发数据,最后指定唯一的头节点将数据传递给基站. PEGASIS 协议最小化了非头节点传输的距离并保证节点轮流执行头节点功能,PEGASIS 性能比 LEACH 提高^[13],但由于 PEGASIS 协议只支持单跳通信,所以不适合大规模的网络,同时,链式拓扑引入大量的时延^[13], n 个节点的网络延时为 n 个单位时间.

1.3 基于地理信息的能效路由

地理信息的支持有 4 大益处:可以作为传感节点的标志,解决 WSNs 节点无法配置标志的难题;同一区域数据的地理相关性更有助于数据融合;利用地理信息及地理查询信息,可以更有效地做到全网能量均衡;可以不考虑网络的拓扑结构,更适合大型网络的应用.

GEAR^[14]协议是一种通过节点位置信息将分组转发限制在固定区域的能效路由协议,该协议的能效性主要体现在节点下一跳的选择权衡了节点能耗和与目的域距离. DDCHA^[15]协议是一种分布式数据为中心的分级蚁群路由算法,协议根据地理位置信息把所有节点分成不同的子网,子网相当于 LEACH 中的簇,每个子网根据网内节点的剩余能量选择核心节点,核心节点相当于簇头节点,核心节点根据蚁群算法寻找一条最短路径以多跳方式将数据分布地传送给 Sink 节点. DDCHA 协议不仅使全网能量均衡,还改善了簇头直接与 Sink 节点通信的巨大能耗,同时增强了网络的可扩展性. GAF^[16]协议最初主要是为移动 Ad Hoc 网络而设计的,但也可以用于 WSNs. GAF 协议将整个网络按地理区域划分,每个小区域内的节点相互协作:一部分节点保持正常工作状态,完成数据收集和转发等任务;另一部分节点保持休眠状态以节省能量,延长网络整体寿命.为了均衡节点能耗,位于网格内同一位置上的节点依次从休眠状态转换到活动状态.在基于地理信息的能效路由协议中,还有 HPAR^[17]协议与 EAR^[18]协议等,均从能效均衡上对网络生命周期进行了改进与提高.

2 能效路由协议的性能比较及应用场景

综上所述,能效性不仅表现在路由能耗最小,同时要结合 WSNs 节点的剩余能量、能量的消耗速率和路由的区域分布考虑全网的能耗均衡,由此可得如下结论:采用分级结构和地理信息的支持是提高网络可扩展性的有效途径;多跳的通信方式、数据为中心的信息融合能更有效地减少 WSNs 的能耗.满足实际应用的能效路由协议基本上是混合协议,但作为面向应用的 WSNs 路由协议,能效性只是弥补 WSNs 在能量、带宽方面的不足,从不同的应用角度看,各个协议的侧重点不同、适应场合也不同.表 1 对上面这些协议的体系结构、网络反应时间、QoS、容错性、健壮性等性能进行了分析与比较,并给出了各个协议的应用场景.

表 1 WSNs 能效路由协议性能比较

protocol	体系结构	网络反应时间	QoS 保证	容错性	健壮性	应用场景
LEACH	同构	快	弱	一般	强	中小型的连续监控系统,特别适合动态拓扑或拓扑易改变的军事和恶劣环境的应用
LEACH-C	同构	快	甚弱	一般	强	中小型的连续监控系统,但需要基站和 GPS 系统的外部环境支撑
LEACH-F	同构	快	一般	一般	弱	不太适合真实环境或实用于一次性的节点固定的小型监控网络

续表

protocol	体系结构	网络反应时间	QoS 保证	容错性	健壮性	应用场景
GESN	同构	快	弱	一般	强	与 LEACH 协议的应用场景一致,但更能适应大型网络对能效性的要求
REECR & D-REECR	异构	快	弱	一般	强	可以同时满足两种不同数据传输要求的中小型连续监控系统,比如,视频与音频同时传输的恶劣环境的应用和军事监控一般
TEEN	同构	实时	弱	一般	强	大型查询系统,对突发事件有需求或热点地区实时跟踪监视的应用环境
APTEEN	同构	实时	弱	一般	强	大型的连续监控系统或者实时查询系统,实用于绝大部分的应用环境,对环境依赖小
EAD	同构	快	一般	一般	强	适合于经常出现的查询或事件的比较友好的应用环境中,需要地理信息的支撑
PEGASIS	同构	慢	甚弱	差	较好	中小型的连续监控系统,不适合军事追踪和监视,也不适合实时应用环境
H-PEGASIS	同构	快	弱	差	较好	中小型的连续监控系统,不适合军事追踪和监视
LBEERA	同构	快	甚弱	差	较好	中小型的连续监控系统或恶劣环境的应用,不适合实时性的网络环境和军事项目应用
PEDAP & PEDAP-PA	同构	一般	弱	一般	较好	中小型的连续监控系统,但不适合军事追踪和监视,同时应用需要地理信息的支持,有一定的环境限制
MTP	同构	快	弱	一般	强	大中型的连续监控与应用系统,但需要 GPS 等地理定位系统支持,对应用环境要求较高
LDEESR	同构	慢	甚弱	强	较好	特别适合对安全性要求高的中小型连续监控系统的应用,比如军事跟踪、监视及重要数据的传输,但时间性不强
GEAR	同构	快	弱	一般	强	中等型查询式应用系统,需要地理信息的支撑,应用比较广泛
DDCHA	同构	快	弱	一般	强	大型查询式应用系统,特别适合拓扑不知晓和易改变的军事或环境应用,应用甚广
GAF	同构	快	弱	一般	强	实际应用性不强,模型比较理想化,但提出的状态转换机制和虚拟网络划分思想有一定的启发意思
EAR	同构	快	一般	一般	强	大型的查询式应用系统,需要地理信息的支撑,应用比较广泛
HPAR	同构	快	一般	一般	强	大型的查询式应用系统,特别是要实时改变查询精度、信息完整等基于内容的网络中,应用广泛

4 结论与展望

近年来,能效性成为 WSNs 路由协议的一个主要研究方向,已经有相当的工作和文献,笔者以能效策略为切入点进行了大量的分析和研究,特别针对 WSNs 面向应用的特性,给出了典型能效路由的应用场景。尽管如此,WSNs 能效路由协议仍存在一系列的问题与挑战,概括起来包括以下 4 点:

(1) 实际应用环境中存在异构网络。异构 WSNs 能效路由协议是 WSNs 路由协议发展的趋势,其研究可以从分级、数据为中心、基于地理信息、基于流量等角度展开。研究方向有:基于 LEACH 的异构 WSNs 多跳分级能效路由、异构 WSNs 分簇算法的能效性分析、异构 WSNs 专用能效路由等;以数据为中心的异构能效路由的研究方向有:基于链式拓扑的异构 WSNs 能效路由、基于树状拓扑的异构 WSNs 能效路由、异构 WSNs 多径能效路由等;基于地理信息和流量的异构 WSNs 能效路由研究方向有:异构 WSNs 能效路由由区域能耗不均的改进问题、异构 WSNs 能效路由的选择机制、基于地理信息或流量的同构能效路由的异构网推广研究等。

(2) 从网络协议的安全性、容错性、QoS 分析,上述协议的一个共同缺陷是:安全性不强、缺乏容错机制和 QoS 保证,这不利于 WSNs 在军事、安全等重要数据传输场景的应用,因此有必要增强 WSNs 的可靠性和健壮性。未来的研究可以基于链式和树状拓扑模型,将安全、容错和 QoS 机制运用到路由选择、数据转发等环节,通过提高数据传输质量、减少传输次数提高网络的能效性。

(3) 基于协同分集的 WSNs 路由是能效路由协议的一个发展方向。智能天线的使用将在提高能量的有效性、改善流量、

减少网络延时等方面发挥巨大的作用. 分级能效路由协议中可以结合协调分集技术改进多跳路由机制, 提高网络的能效性和可拓展性; 以数据为中心的能效路由协议中可以研究协同分集下的数据融合机制, 多径能效路由的改进等; 同时, 协同分集技术特别适合运用于基于地理信息和基于事件驱动模式的能效路由协议.

(4) 能效路由协议的空间与应用场景的拓展. 水下能效传感器路由协议是 WSNs 能效路由协议的空间拓展, 针对 WSNs 路由协议的专用性, 需要研究适合移动节点和基于事件驱动模式的能效路由协议等, 以拓展 WSNs 路由的应用场景.

参考文献:

- [1] 李晓维. 无线传感器网络技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [2] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks [C]//Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences. USA: Maui, 2000; 223-232.
- [3] AKKAYA K, YOUNIS M. A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks [J]. Ad Hoc Network, 2005, 3(3): 325-349.
- [4] LI Xiao-ya, HUANG Dao-ping, YANG Jian. Energy Efficient Routing Protocol Based Residual Energy and Energy Consumption Rate for Heterogeneous Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of the 26th Chinese Control Conference. China: Zhangjiajie, 2007; 587-590.
- [5] 李小亚, 黄道平, 等. 一种异构传感器网络的能效路由协议 [J]. 计算机科学, 2008, 35(5): 60-63.
- [6] 李 莉, 温向明. 无线传感器中分簇算法能效性分析 [J]. 电子与信息学报, 2008, 30(4): 965-969.
- [7] MANJESHWAR A, GRAWAL D P. TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks [C]//Proc. of the 15th Parallel and Distributed Processing Symp. San Francisco, 2001; 2 009-2 015.
- [8] MANJESHWAR A, AGRAWAL D P. APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks [C]. Proc. of the 2nd Int'l Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing. IEEE Computer Society, 2002; 195-202.
- [9] HEINZELMAN W, KULIK J, BALAKRISHNAN H. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks [C]. Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. USA: Seattle, 1999; 174-185.
- [10] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks [C]//Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. USA: Boston, 2000; 56-67.
- [11] BOUKERCHE A, CHENG Xiu-zhen, LINUS J. Energy-Aware Data-Centric Routing in Microsensor Networks [C]//Proceedings of the Sixth ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. CA, United States, 2003; 42-49.
- [12] LINDSEY S, RAGHAVENDRA C S. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems [C]//Proceedings of the IEEE Aerospace Conference. Big Sky, 2002, 10(4): 198-204. .
- [13] LINDSEY S, RAGHAVENDRA C S, SIVALINGAM K. Data Gathering in Sensor Networks Using the Energy * Delay Metric [C]//Proceedings of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing. San Francisco, CA, 2001; 2 001-2 008.
- [14] 郑 杰, 屈玉贵, 郭淑杰, 等. 无线传感器网络低时延能量均衡安全路由 [J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(2): 161-165.
- [15] XIE Zhi-jun, CHEN Hong. Subnets Based Distributed Data-Centric Hierarchical Ant Routing for Sensor Networks [C]//Proceedings 2005 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2005; 895-900.
- [16] XU Y, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Geography-Informed Energy Conservation for Ad hoc Routing [C]//Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 01). Rome, Italy, July 2001; 70-84.
- [17] QUN L, JAVED ASLAM. Hierarchical Power Aware Routing in Sensor Networks [C]//Proc. DIMACS Wksp. Pervasive Net. May, 2001.
- [18] RAHUL C SHAH, JAN M. Energy Aware Routing for Low Energy ad Hoc Sensor Networks [C]//IEEE WCNC, Orlando, FL, Mar. 17-21; 2002.

(下转第 69 页)

电容器与电抗器的串联阻抗为 $Z_{LC} = X_L + (-X_C)$, 当 $X_L = X_C$ 时, 系统会产生谐振其谐振频率 $f_0 = 50 \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = 50 \sqrt{\frac{X_C}{0.06X_C}} = 204 \text{ Hz}$. 因为 5 次谐波频率为 250 Hz, 所以 6% 电抗器可以避免大于 5 次谐波的谐振. 由图 6 可知: 在基波频率下, 电容电抗器保有电容特性; 在谐波频率下, 电容电抗器呈现感性, 大部分电流流回电网, 小部分流过电容器(如图 5 所示), 避免了电容器过电流及与系统产生串并联谐振.

3 结语

笔者论述了串联补偿在污水厂电力系统中的应用, 为满足电力系统对功率因数的要求, 系统必须要做无功补偿, 而用电负荷产生的谐波对无功补偿装置会产生很大的危害, 所以采用电抗器串联电容器的串补方式既实现对谐波的治理, 又保证系统对无功的补偿. 在实际的污水厂中已成功应用, 并取得了良好的运行效果, 同时大大延长了设备的使用寿命.

参考文献:

- [1] WAKILEH G J. Power System Harmonics [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 国家技术监督局. GB/T14594—2005 电能质量公用电网 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [3] 王兆安. 谐波抑制和无功功率补偿 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [4] 罗 安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

Application of Series Compensation in Sewage Plant Power System

ZHU Jing-gang¹, LI Xiao-mei², SONG Zhi-jie³

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 30074, China; 2. Xi'an Branch Institute of North China Municipal Engineering Design & Research Institute, Xi'an University, Xi'an 710018, China; 3. Xi'an Branch Institute of the IT Electronics Eleventh Design & Research Institute, Xi'an University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Based on the characteristics of power system and the actual operating experience of sewage plant power system, this article detailedly discusses how to use the series compensation mode of reactor and condenser to realize harmonic governance and reactive power compensation.

Key words: harmonic wave; condenser; reactor; reactive power; series compensation

(责任编辑 陈炳权)

(上接第 62 页)

Overview of Energy Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks

DENG Xiao-fei, XU Qian, HUANG Guang-ya

(College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China)

Abstract: Energy efficiency is a hot and key research point in wireless sensor networks routing protocols. The development of energy efficient routing protocols in wireless sensor networks is introduced. Then the fault tolerance and robustness of the protocols are studied. And the applications of the protocols are given. According to the current researches on the protocols, the prospective research of energy efficient routing is summarized. The commercialization and industrialization of the wireless sensor networks may be promoted.

Key words: wireless sensor networks; routing protocols; energy efficient

(责任编辑 陈炳权)