

无线传感器网络动态路由研究与展望

齐小刚 刘三阳

(西安电子科技大学数学科学系 西安 710071)

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室 西安 710071)

摘要 无线传感器网络是集信息采集、信息传输、信息处理于一体的综合智能信息系统,具有广阔的应用前景,是信息网络技术中的一个新领域。节点资源极端受限、大规模网络的随机散布以及网络拓扑的动态性都给路由选择与优化问题的研究带来了前所未有的挑战。重点介绍了无线传感器网络路由问题面临的挑战,分析了路由问题的多种制约因素,并提出了动态网络拓扑模型建立的必要性和路由问题的发展方向。

关键词 传感器网络,路由优化,动态拓扑建模,制约因素,复杂网络

中图分类号 TP393.11 **文献标识码** A

Research and Prospect of Dynamic Routing in Wireless Sensor Networks

QI Xiao-gang LIU San-yang

(Department of Applied Mathematics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

(State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract Wireless sensor networks are a kind of integrated intelligent information system consisting of small nodes with information collection, information transformation, and information processing. It can be used in many fields, and is a new domain of information networks. Limitation of the power energy, dissemination of extensive sensor nodes, and dynamics of the topology of wireless sensor networks have brought out enormous challenges to routing in wireless sensor networks. In the paper, firstly some challenges of routing in wireless sensor networks were presented, and then various restrict factors were analyzed. Finally, some development trends were pointed out, and the dynamic topology model may be a proper selection to solve the routing problem in wireless sensor networks.

Keywords Wireless sensor networks, Routing optimization, Dynamic topology modelling, Restrict factors, Complex networks

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks,简称 WSNs)是集信息采集、信息传输、信息处理于一体的综合智能信息系统,具有广阔的应用前景,是信息网络技术中的一个新领域,是当前信息领域研究和开发的一个热点,可实现数据的采集量化、处理融合和传输应用,可用于军事侦察、环境监测、医疗监护、空间探索、城市交通管理、仓储管理等军事和民用领域^[1-4]。

2 路由技术研究现状及面临的挑战

2.1 面临的挑战

不像传统的端到端的多媒体网络,WSNs中节点资源极端受限、大规模网络的随机散布以及网络拓扑的动态性都给路由选择与优化问题的研究带来了前所未有的挑战^[5]。在无线传感器网络路由选择过程中将会出现下列问题:(1)如何正确刻画网络拓扑的动态性,因为节点在受控条件下进行唤醒/

休眠切换以及能量在不断地消耗,均为导致网路拓扑变化的重要因素^[5-7];(2)如何在动态网络拓扑条件下进行路由选择^[5];(3)如何针对不同的网络结构进行路由计算并保证算法的有效性、降低算法的复杂度以减少能量消耗^[8];(4)如何通过网络路由技术增强数据传递的可靠性与网络的抗毁性也是值得研究的问题^[5,9,10];(5)考虑到不同用户的应用需求,如何设计满足不同服务质量需求的路由选择算法^[5,15-17]。

2.2 制约因素分析

大量传感器节点的地理散布、传感器网络节点有限的能量以及通信链路有限带宽的限制给传感器网络的设计和管理带来了巨大的挑战^[3-5],也预示着网络各层协议设计时必须保证能量消耗的有效性,迫切需要建立有效能量消耗的路由选择方法,以便在完成数据从传感器节点(Sensor Node,SN)到基站(Base Station,BS)传递的同时最大化网络的寿命,防止网络功能的迅速恶化。

现有文献表明在路由算法和协议设计方面面临着许多的制约因素。

到稿日期:2008-09-09 返修日期:2009-04-22 本文受国家自然科学基金(No. 60674108,60703118),陕西省自然科学基金(No. 2007A01)资助。
齐小刚(1973-),男,博士,副教授,硕士生导师,CCF会员,研究方向为图论与组合最优化、网络优化理论与方法以及路由与交换,E-mail: qixiaogang@gmail.com;刘三阳(1959-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为最优化、网络算法和网络可靠性。

(1)节点散布^[1,3]。面对不同的网络应用,节点散布包括预定的和随机的两种,对于预定的散布,数据发送可以沿着预先设计的路径进行数据传递。而对于随机散布,节点的分布是不均匀的,需要合理地进行分簇以保证网络的连通性和能量有效的网络管理。(2)能量消耗^[5,10,13,14]。网络节点的寿命依赖于电池的寿命,通信和计算的能量预留形式至关重要,因为节点的失效将导致拓扑结构的变化,可能导致数据包的重路由或网络的重新配置。(3)节点/链路的异构性^[1,5]。在许多的研究中,通常假设节点是同构的。但是面对不同的应用,节点的角色和能力可能不同,这将导致数据路由中许多新问题的出现。(4)容错性^[5,11,15]。能量缺乏、物理损坏、环境干扰都有可能节点失效,但是不能因为节点的失效影响网络的功能,因此重路由和多级别的冗余是必要的。(5)可扩展性^[5,19]。成百上千的网络节点散布在某个感知区域,因此设计的路由方案必须适应大规模的传感器网络。(6)网络动力学^[10,13]。无线传感器网络是一个动态的网络,节点可以随处移动;一个节点可能会因为电池能量耗尽或其他故障,退出网络运行;一个节点也可能由于工作的需要而被添加到网络中。这些都会使网络的拓扑结构随时发生变化,因此网络应该具有动态拓扑组织功能。(7)传输介质^[5]。在多跳传感器网络中,网络节点通过无线信道连接。与传输介质相关的是MAC层的设计,但基于不同的介入方式将对应不同的能量消耗。(8)连通性^[11,15]。虽然传感器网络中节点密集分布,但是网络的连通性仍然受拓扑变化、节点失效和节点随机分布情况的制约。(9)覆盖度^[9,11]。用于每个节点的覆盖范围和准确性有限,因此区域覆盖度是WSNs中的一个主要设计参数。(10)数据聚合^[5,17]。考虑到数据的冗余,数据聚合一方面可以减少用于数据传递所需的能量消耗,另一方面也可以提高数据的准确性。(11)服务质量^[15-17]。在某些应用中,感知的数据应当在一定的时限内被发出,否则数据将会无效。另外对于某些重要的数据,数据发送的可靠性也非常重要,所以需要设计针对不同服务质量的路由协议。

2.3 国内外研究现状

国内外学者针对不同网络结构和应用需求,对传感器网络的路由选择方法和路由协议设计做了大量的研究^[5,11-13]。可以根据网络结构将其分为平坦网络路由、分层网络路由以及基于位置的路由3类;也可以根据网络的应用需求将其分为多路路由、基于协商的路由、基于询问的路由、服务质量路由等多种。典型的方法有:SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)^[18],LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)^[19],PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)^[20],TEEN(Threshold-Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol)^[21],TTDD(Two-Tier Data Dissemination)^[22],GAF(Geographic Adaptive Fidelity)^[23],GEAR(Geographic and Energy Aware Routing)^[24],SAR(Sequential Assignment Routing)^[25],SPEED^[26]等。

3 研究设想及展望

以上各种路由选择方法和协议设计分别着眼于不同的侧重点而有所利弊,但这些方案存在以下问题:

1)多数协议通常都假设传感器节点和BS节点均是静止的,而没有考虑实际网络(如战场)中网络节点的移动性,新的网络节点应当能够处理能量有限环境下的节点移动和不断变

化的网络拓扑;

2)多数协议没有考虑到图形、图像和声音类传感器的存在,因此迫切需要建立满足实时性和其它服务质量的路由模型,并设计满足能量限制的服务质量路由选择算法;

3)多数协议没有充分考虑节点的故障,容错性不高。

为了解决上述问题,传感器网络的路由优化需要研究以下课题:

1)动态网络拓扑结构建模;

2)不稳定、不确定状态下的路由优化模型;

3)考虑应用需求和网络结构相关的容错路由、可靠路由和服务质量路由等问题的研究。

近年来,作为探索复杂系统结构和功能的复杂网络引起了国际科学界的高度重视,已成为数理科学、生命科学、社会科学、技术科学和管理科学的研究热点之一^[1,4,27]。复杂网络可以作为描述从技术到生物直至社会各类系统的骨架,而且是研究系统拓扑结构和动力学性质的强有力工具,因此人们致力于揭示复杂网络拓扑结构的形成机制、演化规律、涌现临界和动力学过程。

目前,针对传感器网络路由问题的研究工作通常基于传统路由系统的严格层次模型,一般采用静态的基于图论的方法^[28]。然而由于传感器网络的固有属性,现实系统中节点及其与边的关系具有很强的不确定性和动态性,其主要表现为两种形式:

①节点确定,但边以概率连接;

②节点不确定,点边关系也不确定。

传感器网络作为一个高度自治的网络形式,具有很强的自组织性,很多特性与生物网络和社会网络类似,因此需要借用物理学和系统科学的理论和方法揭示传感器网络的演化规律和行为特征。

因此,在研究节点能量消耗与调整参数的基础上,建立传感器网络的动态拓扑描述模型,同时考虑节点移动性以及节点由于唤醒/休眠、通信半径等因素给网络拓扑变迁带来的影响;基于动态网络拓扑模型,借助模糊数学理论、不确定性理论和多约束优化理论建立不稳定和不确定状态下的容错路由、可靠路由和服务质量路由算法。

结束语 作为信息技术中的一个新领域,无线传感器网络具有广阔的应用前景,可用于大量的军事和民用领域。在美国的移动计算和网络国际会议上,提出了无线传感器网络是下一个世纪面临的发展机遇。美国《技术评论》杂志论述未来新兴十大技术时,无线传感器网络被列为第一项未来新兴技术。美国《今日防务》杂志更认为无线传感器网络的应用和发展,将引起一场划时代的军事技术革命和未来战争的变革。可以预计,无线传感器网络的发展和广泛应用,将对人们的社会生活和产业变革带来极大的影响和产生巨大的推动。因此研究无线传感器网络的动态网络拓扑模型,进而建立动态网络拓扑条件下的容错路由、可靠路由和服务质量路由算法,拓宽数学方法,特别是网络优化技术在实际网络领域的应用和算法研究。

参考文献

- [1] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: A survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4)
- [2] Elson J, Estrin D. Sensor Networks: A Bridge to the Physical World[M]. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2004

(下转第16页)

- [16] Prasad R, Dovrolis C, Thottan M. Router Buffer Sizing Revisited; The Role of the Output/Input Capacity Ratio [C] // Proceedings of ACM SIGCOMM CoNEXT, Dec. 2007
- [17] Raina G, Towsley D, Wischik D. Control theory for buffer sizing Part II[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2005, 35(3):79-82
- [18] Auge J, Roberts J. France Telecom R&D Div. , France. Buffer sizing for elastic traffic [J]. Next Generation Internet Design and Engineering, 2006
- [19] Eun D, Wang Y X. Performance modeling of TCP/AQM with generalized AIMD under intermediate buffer sizes [C] // Performance, Computing, and Communications Conference. April 2006; 103-111
- [20] Avrachenkov, Ayesta K, Piunovskiy U A. Optimal choice of the buffer size in the Internet routers [J]. Decision and Control, Dec. 2005; 1143-1148
- [21] Vu-Brugier G, Stanojevic R S, Leith D J, et al. A Critique of Recently Proposed Buffer-sizing Strategies[J]. Computer Communications Review, Feb. 2007
-
- (上接第 2 页)
- [3] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7)
- [4] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1)
- [5] Al-Karaki J N, Kamal A E. Routing Techniques in wireless sensor networks; a survey [J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(6)
- [6] Park J, Sahni S. An Online Heuristic for Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Computers, 2006, 55(8)
- [7] Chiasserini C - F, Garetto M. An Analytical Model for Wireless Sensor Networks with Sleeping Nodes[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(12)
- [8] Hou Y T, Shi Yi, Pan Jianping, et al. Maximizing the Lifetime of Wireless Sensor Networks through Optimal Single-Session Flow Routing[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(9)
- [9] Xing Guoliang, Lu Chenyang, Pless R, et al. Impact of Sensing Coverage on Greedy Geographic Routing Algorithms[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(4)
- [10] Chen Yunxia, Zhao Qing. On the Lifetime of Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9(11)
- [11] Liu Chong, Wu Kui, Xiao Yang, et al. Random Coverage with Guaranteed Connectivity; Joint Scheduling for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(6)
- [12] Chen Y P, Liestman A L, Liu Jiangchuan. A Hierarchical Energy-Efficient Framework for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2006, 55(3)
- [13] Chang J-H, Tassiulas L. Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004, 12(4)
- [14] Madan R, Lall S. Distributed Algorithms for Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(8)
- [15] Felemban E, Lee C-G, Ekici E. MMSPEED; Multipath Multi-SPEED Protocol for QoS Guarantee of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(6)
- [16] Fallahi A, Hossain E, Alfa A S. QoS and Energy Trade Off in Distributed energy-Limited Mesh/Relay Networks; A Queuing Analysis[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(6)
- [17] Zhu Jin, Papavassiliou S, Yang Jie. Adaptive Localized QoS-Constrained Data Aggregation and Processing in Distributed Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(9)
- [18] Ye F, et al. A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks[C] // Proc. 10th Int'l. Conf. Comp. Commun. and Networks. 2001; 304-309
- [19] Chu M, Haussecker H, Zhao F. Scalable Information Driven Sensor Querying and Routing for Ad Hoc Heterogeneous Sensor Networks[J]. Int'l. J. High Perf. Comp. Apps. , 2002, 16(3)
- [20] Lindsey S, Raghavendra C. PEGASIS; Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems[C] // IEEE Aerospace Conf. Proc. vol. 3, 2002; 1125-1230
- [21] Manjeshwar A, Agarwal D P. TEEN; a Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks[C] // 1st Int'l. Wksp. on Parallel and Distrib. Comp. Issues in Wireless Networks and Mobile Comp. 2001
- [22] Ye F, et al. A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks[C] // Proc. ACM/IEEE MOBI-COM 2002
- [23] Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing [C] // Proc. 7th Annual ACM/IEEE Int'l. Conf. Mobile Comp. and Net. 2001; 70-84
- [24] Yu Y, Estrin D, Govindan R. Geographical and Energy - Aware Routing; A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks [R]. UCLA Comp. Sci. Dept. , UCLA-CSD TR-010023, May 2001
- [25] Sohrabi K, Pottie J. Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network[J]. IEEE Pers. Commun. , 2000, 7(5)
- [26] He T, et al. SPEED; A Stateless Protocol for Real-time Communication in Sensor Networks [C] // Proc. Int'l. Conf. Distrib. Comp. Sys. Providence, RI, May 2003
- [27] Niculescu D, Americ NL. Communication paradigms for sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(3)
- [28] 卢锡城, 赵金晶, 朱培栋, 等. 域间路由系统自组织特性[J]. 软件学报, 2006, 17(9)