

无线传感器网络多路径路由协议研究进展*

于继明, 卢先领, 杨余旺, 孙亚民, 杨静宇

(南京理工大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 在研究目前存在的多路径路由协议特点及核心路由机制基础上, 总结了多路径路由协议的特征, 并对不同的多路径路由相关项进行了比较。最后指出了多路径路由的研究思路以及未来的发展趋势。

关键词: 无线传感网络; 多路径路由; 路由机制

中图分类号: TP393.04

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2007)06-0001-03

Overview of Multipath Routing Protocols in Wireless Sensor Networks

YU Ji-ming, LU Xian-ling, YANG Yu-wang, SUN Ya-ming, YANG Jing-yu

(School of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China)

Abstract: Characters and key mechanisms of existing multipath protocols were studied and the features of multipath routing were summarized, many items of the protocols were compared using table. Finally future research means and trends were indicated.

Key words: sensor networks; multipath routing protocol; routing mechanism

随着微机电技术、传感器技术、通信技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和网络技术的发展, 易分布、低功耗的无线自组传感网络研究在世界范围内越来越受到重视, 在军事、商业及智能家具等领域具有广阔的应用前景。无线自组传感网络通常由大量具有信息采集、数据处理和转发路由功能的节点, 通过无线多跳通信方式形成无线自组传感网络系统。与传统网络相比, 其主要特征如下: ①能量受限。网络节点通常携带不能补充的有限能量。②无中心自组织。网络中各节点是在随机部署后, 按照一定算法自动组织成面向应用的网络。③拓扑动态变化。移动终端能以任意速度和移动模式移动, 并可以随时关闭电台; 加上天线类型的多种多样、发动功率的变化、无线信道间的相互干扰、地形和天气等综合因素的影响, 拓扑可能随时发生变化。变化的方式及速度均难以预测, 主要体现在节点和链路的状态及分布变化上。无线自组传感网络有易部署、自组织、监测精度高、容错性高、覆盖区域大、可远程监控等优点。其缺点是, 能量受限、资源受限、拓扑变化频繁等。因此, 传统的路由机制不适应无线传感网络, 必须设计与之相应的路由协议。近几年, 人们提出多种基于不同应用目标的路由协议^[1~3], 并根据不同的应用对路由进行了分类研究与比较^[1,2,4]。但是, 大部分协议均是基于单路径的路由协议, 如 DSR^[5]、AODV^[6]等。单路径路由传输数据时控制包的开销和网络延迟都较大。在负载较大时, 将面临网络拥塞或节点能量快速消耗的问题。在视频处理方面, 传输延迟不能保证视频服务质量。多路径路由在这些方面均体现出单路径路由难以实现的优势。因此, 多路径路由算法的研究引起了人们的重视。一些多路径路由协议是对单路径路由协议的扩展, 在单路径路由

机制基础上增加多路径处理机制。文献[7]M-DSDV 是基于 DSDV 的多路径路由。文献[8,9]AOMDV 是基于 AODV 的多路径路由。文献[10~12]是基于 DSR 的路由协议, 在路由发现过程中得到多条不相关路径, 减少了路由发现次数, 并增强了路由的稳定性。目前人们对多路径路由机制的研究正逐步深入。文献[13]对不相交多路径和缠绕多路径路由在能量消耗、延迟等方面进行了分析比较。文献[14]建立了多路径路由分析模型, 提出把总通信流量分流的策略, 以提高网络的网络吞吐量、健壮性、稳定性, 并分析链路断链的概率。文献[15]对基于多路径路由的视频流资源分配进行了研究。

1 多路径路由协议介绍

1.1 SPIN 协议^[16]

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN) 协议是第一个基于数据协商的路由协议。SPIN 路由建立基于三次握手过程: ADV → REQ → DATA; 运行 SPIN 协议的节点称为 SPIN 节点。SPIN 节点在产生或收到数据后, 对元数据进行命名, 用包含元数据的 ADV 消息向邻节点进行通告。需要数据的邻节点用 REQ 消息提出请求, 数据通过 DATA 消息发送到请求节点。路由建立过程如图 1 所示。

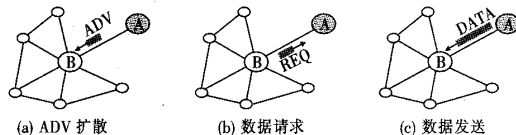


图1 SPIN路由建立与数据传输三步骤

收稿日期: 2006-05-24; 修返日期: 2006-07-20 基金项目: 国防科工委预研基金资助项目; 国家自然科学基金资助项目(60472060)

作者简介: 于继明, 博士研究生, 主要研究方向为计算机网络(yujm608@yahoo.com.cn); 卢先领, 博士研究生, 主要研究方向为计算机网络; 杨余旺, 副教授, 博士, 主要研究方向为网络通信与模式识别; 孙亚民, 教授, 主要研究方向为计算机网络; 杨静宇, 教授, 博导, 主要研究方向为人工智能、机器人。

SPIN 协议的 ADV 消息减轻了内爆和数据重叠问题。SPIN 协议节点可根据自身资源和数据信息决定是否进行 ADV 通告;与 Flooding 和 Gossiping 协议相比,有效地节约了能量^[2]。但是它也有缺点:当产生或收到数据节点的所有邻节点均不需要该数据时,将导致数据不能继续转发,会使较远节点无法得到数据。

1.2 Flooding 协议^[3]

Flooding 协议是最为经典和简单的传统网络路由协议。节点产生或收到数据后,向邻居节点广播,直到数据包过期或到达目的节点;数据会经过多条路径到达目的节点。该协议本身算法简单,容易实现,各节点不需要维护路由信息,协议健壮性强,但有内爆和数据重叠问题,扩展性能很差。

1.3 DD 协议^[17]

Directed Diffusion Protocol (DD) 协议是一个基于数据查询驱动的路由协议。汇聚节点通过兴趣 (Interest) 消息发出查询任务,采用洪泛方式传播兴趣消息,如温度、震动、光线强度等消息。兴趣传播过程中,每个节点建立反射的从数据源到汇聚节点的数据传输梯度。路由机制分为兴趣扩散、梯度建立及路径加强三个阶段,如图 2 所示。

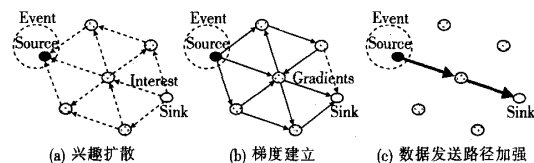


图 2 DD 协议简单示意图

兴趣扩散阶段,汇聚节点周期性地向邻居节点广播包含任务类型、目标区域、数据发送速率、时间戳等参数的兴趣消息;接收消息的节点,缓存查询信息,进行局部数据聚集。当接收到查询信息时,若当前缓存没有相同记录,则加入新记录;记录中包含有邻节点指定的数据发送率,即梯度。数据传输阶段,汇聚节点会对最先收到消息的邻节点发送路径加强信息;接收到加强路径的节点做路径加强工作,目标数据沿这个较高梯度的路径发送数据;当主路径失效时,其他发送梯度较小的路径作为备用路径。这种机制增强了路由的稳定性。

1.4 TBF 协议^[18]

Trajectory Based Forwarding (TBF) 协议是基于源路由的路由协议。协议在数据包头中指定连续的传输轨道参数,中间各节点根据参数按贪心算法,计算出轨道最近的节点下一跳节点。协议通过指定不同的轨道参数,实现多路径传播或广播。由于是源路由协议,节点不需要缓存来存储大量路由信息。与其他源路由协议不同,数据包头中不是节点信息,包头规模不会随着网络变大而增加,并可适应网络的变化;但是中间各节点的计算量,会随着网络的扩大而相应增加。在 GPS 系统的协助下,它可以沿任意方式传播,如图 3 所示。

1.5 SAR 协议^[19]

Sequential Assignment Routing (SAR) 协议是 WSNs 中第一个保证 QoS 的主动路由协议^[2,20,21]。汇聚节点的所有一跳邻居节点都以自己为根创建生成树;各节点根据时延、丢包率等 QoS 参数建立反向到汇聚节点的多条路由;发送数据时,选择万方数据

其中一条或多条路由进行传输。其优点是能够提供 QoS 保证;缺点是大量的冗余路由信息消耗了存储资源,路由信息的维护及计算也需要大量开销。

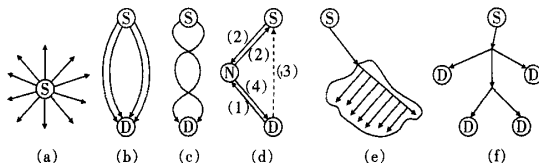


图 3 TBF 协议沿任意路径传播数据示意图

1.6 TORA 协议^[20]

Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) 协议是在有向无环图 (DAG) 基础上提出的一种按需路由协议,分为三个过程:①路由发现。与其他按需路由一样,扩散路由请求分组;不同的是路由回答分组中,每个节点分配一个相对于源节点的高度值,源节点最高、目的节点最低,通过相邻节点的高度值,形成一条或多条路径。②路由维护。修改相关节点的高度值和状态表,建立新路由。路由建立过程如图 4 所示。③路由删除。删除无效路由。TORA 消除环路问题,并提供多条路径。

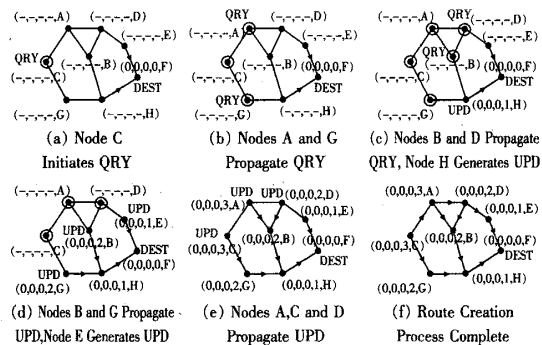


图 4 TORA 路由建立过程

1.7 SMR^[21] 协议

Split Multipath Routing (SMR) 协议是按需源路由的多路径路由协议。路由过程分为路由发现、路由维护。当源节点需要到目的节点路由而又没有路由信息时,扩散 Route Request (RREQ) 消息到全网;中间节点不允许向源节点发送回复包,只是把自己的节点加入到路径中。目的节点接收到从源节点发来的多条路径消息时,向源节点回送包含整条路径消息的 Route Reply (RREP) 包。协议的主要目的是建立最大不相交的多条路径,以防止网络拥塞,并有效地初始化可用的网络资源。SMR 路由建立过程如图 5 所示。

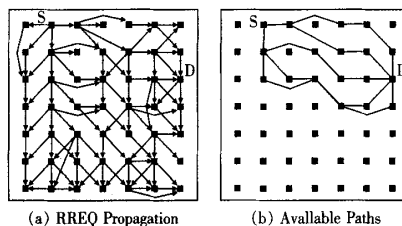


图 5 SMR 路由请求及可用多路径示意图

SMR 协议在初始化路由请求时,由于采用洪泛方式,占用资源较多;由于采用资源路由方式,包头信息占用了不少字节。但是,中间节点不用 Cache,每个节点仅占用很少的存储空间,

并且此路由协议提供 QoS 支持。

1.8 MSR 协议^[10]

Multipath Source Routing(MSR)协议是根据 RTT 对 DSR 协议的路由发现和路由维护进行扩展以适应多路径路由,在路由发现阶段返回多条路径。路由发现阶段,在 DSR 路由发现机制基础上加入多路径适应机制,并将发现的路由按唯一序号保存在路由缓冲中。多路径路由机制中,路由独立性是非常重要的属性。MSR 路由中,源节点根据权重来选择路径以保证负载均衡。选择计算公式为

$$W_i = \min_j \{ \lceil \frac{d_{\max}}{d_i} \rceil, U \} \times R$$

其中, d_{\max} 是所有到目的节点的最大延迟; d_i 是第 i 条路径到 j 的延迟; U 是调节使 W_i 值不至于过大; R 是频率参数。该协议的数据吞吐量、传输延迟及丢包率均有所改进,但是增加了计算量。

1.9 能量多路径协议^[22,23]

能量多路径路由(EAMR)^[22]机制是在源/目的节点间建立多条路径,在多条路径上传输数据的多个拷贝或把数据分成多个相等部分并发传输,使得数据传输均衡消耗整个网络的能量,延长整个网络生存期。由于节点选择概率是能量相关的,其将通信能量消耗分散到多条路径上。EAMR 协议可以实现整个网络能量消耗均衡,最大限度地延长网络生存期。MMER^[23]协议以不相交多路径数据传输方式,按全局能量最小化的路由机制设计路由,以达到均衡能量消耗及能量高效的目的。

2 无线自组传感网络多路径路由协议比较

不同的多路径路由协议机制不同,具体面向的应用也各有特点,难以进行比较。本文采用列表的形式,对一些多路径路由协议进行总结与比较,如表 1 所示。

表 1 多路径路由协议比较

协议	主动	按需	支持 QoS	数据为中心	数据融合	不相交多路径	并发多径传输
SPIN		✓		✓	✓		
Flooding	✓	✓		Possible			
DD		✓	Possible	✓	✓		
TBF		✓					Possible
SAR		✓	✓				✓
TORA		✓				Possible	Possible
SMR		✓	✓			✓	
MSR		✓				Possible	
EAMR	✓	✓	Possible			✓	✓

3 多路径路由研究思路及发展趋势

无线自组传感网络由于能量限制、拓扑变化及带宽限制,对路由算法要求非常高。多路径路由由于延迟小、负载均衡、吞吐量等优点,逐渐引起人们的重视。多路径路由主要分为两类:①对单路径路由的扩展。路由机制是在路由发现时,记录多条路由作为当前路由的备选路由,当活动路由失效后,从多路径中选择一条继续路由,不需要重新发起路由发现过程。②多路径并行传输的多路径路由。它是在多条路径之间根据资源、跳数、延迟等策略,合理分配负载,以快速达到路由的目的。设计多路径路由时,应考虑以下几个方面:①算法尽量简单。

②路径的规模不能过大。如果规模过大,就会造成系统资源紧张甚至过度消耗,导致网络性能下降。③路由稳定性好。网络拓扑本身就是变化的,如果路由不稳定,路由维护消耗大,路由效率反而会降低。④负载分配算法要合理。合理地分配系统资源,根据各路径上资源情况分配负载,可以减少传输延迟,增加传输速率和系统吞吐量、均衡能量消耗,提高网络寿命。因此,在研究多路径路由协议时,根据不同应用,要综合考虑以上几种情况,还要结合当前路由技术中的数据跨层、数据融合、分簇和定位等,优化多路径路由算法。

参考文献:

- [1] ROYER E M, TOH C K. A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks[J]. IEEE Personal Communications Magazine, 1999, 6(2): 46-55.
- [2] TANG Yong, ZHOU Mingtian, ZHANG Xin. Overview of routing protocols in wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2006, 17(3): 410-421.
- [3] AKKAYA K, YOUNIS M. A survey on routing protocols for wireless sensor networks[EB/OL]. [2003]. http://www.cs.umbc.edu/~kemall/mypapers/Akkaya_Younis_JoAdHocRevised.pdf.
- [4] CHEN Yuequan, GUO Xiaofeng, ZENG Qingkai, et al. Multipath routing research in mobile ad hoc networks[J]. Computer Science, 2005, 32(6): 33-36.
- [5] JOHNSON D, MALTZ D A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks: Mobile Computing[M]. [S. l.]: Kluwer Academic Publishers, 1996: 153-181.
- [6] PERKINS C E, ROYER E M. Ad hoc on-demand distance vector routing[EB/OL]. [2002]. <http://wisl.ece.cornell.edu/ECE794/Mar5/perkins-aodv.pdf>.
- [7] DONG X, PURL A A. DSDV-based multipath routing protocol for ad hoc mobile networks[EB/OL]. [2002]. <http://www.ece.queensu.ca/hpages/faculty/yeh/program.txt>.
- [8] MARINA M K, DAS S R. On-demand multipath distance vector routing for ad hoc networks: proc. of the International Conference on Network Protocols (ICNP) [C]. Riverside, USA: [s. n.], 2001: 14-23.
- [9] LOSCRI V, RANGO F De, MARANO S. Performance evaluation of on-demand multipath distance vector routing protocol over two MAC layers in mobile ad hoc networks: International Symposium on Wireless Communication Systems[C]. [S. l.]: [s. n.], 2004: 413-417.
- [10] WANG Lei, ZHANG Lianfang, SHU Yantai, et al. Multipath source routing in wireless ad hoc networks: proc. of the IEEE CCECE[C]. [S. l.]: [s. n.], 2000: 479-483.
- [11] MATEEN W, RAZA S, ZARTASH A U, et al. Adaptive multi-path on-demand routing in mobile ad hoc networks: proc. of the 8th IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-time Distributed Computing (ISORC'05) [C]. [S. l.]: [s. n.], 2005: 237-244.
- [12] NASIPURI A, DAS S R. On-demand multipath routing for mobile ad hoc networks: proc. of the 8th Int'l Conf. on Computer Communications and Networks[C]. Boston: [s. n.], 1999: 64-70.
- [13] GANESAN D, GOVINDAN R, SHENKER S, et al. Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks[J]. Mobile Computing and Communications Review, 2001, 5(4): 3-5.

参考文献:

- [1] JUNG K, KIM K I, JAIN A K. Text information extraction in images and video: a survey[J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(5): 977-997.
- [2] KIM S, KIM D, RYU Y, *et al.* A robust license-plate extraction method under complex image conditions: proc. of International Conference on Pattern Recognition [C]. [S. l.]: [s. n.], 2002: 216-219.
- [3] PARK S H, KIM K I, JUNG K, *et al.* Locating car license plates using neural networks[J]. *IEE Electronics Letters*, 1999, 35(17): 1475-1477.
- [4] KIM H K. Efficient automatic text location method and content-based indexing and structuring of video database[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 1996, 7(4): 336-344.
- [5] LIENHART R, STUBER F. Automatic text recognition in digital videos: proc. of SPIE[C]. [S. l.]: [s. n.], 1996: 180-188.
- [6] JAIN A K, YU B. Automatic text location in images and video frames [J]. *Pattern Recognition*, 1998, 31(12): 2055-2076.
- [7] SMITH M A, KANADE T. Video skimming for quick browsing based on audio and image characterization, Technical Report CMU-CS-95-186[R]. [S. l.]: Carnegie Mellon University, 1995.
- [8] YASSIN M Y H, KARAM L J. Morphological text extraction from images[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, 9(11): 1978-1983.
- [9] CHEN Datong, SHEARER K, BOURLARD H. Text enhancement with asymmetric filter for video OCR: proc. of International Conference on Image Analysis and Processing [C]. [S. l.]: [s. n.], 2001: 192-197.
- [10] LYU M R, SONG Jiqiang, CAI Min. A comprehensive method for multilingual video text detection, localization, and extraction[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, 15(2): 243-255.
- [11] WU V, MANMATHA R, RISEMAN E M. Text finder: an automatic system to detect and recognize text in images[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(11): 1224-1229.
- [12] WU V, MANMATHA R, RISEMAN E R. Finding text in images: proc. of ACM International Conference on Digital Libraries[C]. [S. l.]: [s. n.], 1997: 1-10.
- [13] MAO Wenge, CHUNG Fulai, LANM K, *et al.* Hybrid chinese/english text detection in images and video frames: proc. of International Conference on Pattern Recognition [C]. [S. l.]: [s. n.], 2002: 1015-1018.
- [14] LI H, DOERMAN D, KIA O. Automatic text detection and tracking in digital video[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, 9(1): 147-156.
- [15] ZHONG Yu, KARU K, JAIN A K. Locating text in complex color images[J]. *Pattern Recognition*, 1995, 28(10): 1523-1536.
- [16] KIM K I. Support vector machine-based text detection in digital video [J]. *Pattern Recognition*, 2001, 34(2): 527-529.
- [17] ZHONG Yu, ZHANG Hongjiang, JAIN A K. Automatic caption localization in compressed video[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(4): 385-392.
- [18] TRAN H, LUX A, NGUYEN H L T, *et al.* A novel approach for text detection in images using structural features: proc. of ICAPR'05 [C]. [S. l.]: [s. n.], 2005: 627-635.
- [19] L' ASSAINATO P, GAMBA P, MECOCCHI A. Character recognition in external scenes by means of vanishing point grouping: proc. of the 13th International Conference on Digital Signal Processing[C]. [S. l.]: [s. n.], 1997: 691-694.
- [20] 欧文武, 朱军民, 刘昌平. 自然场景文本定位[J]. *中文信息学报*, 2004, 18(5): 42-63.
- [21] PEI Soochang, CHUANG Yuting. Automatic text detection using multi-layer color quantization in complex color images: proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo[C]. [S. l.]: [s. n.], 2004: 619-622.
- [22] JAIN A K, BHATTACHARJEE S. Text segmentation using Gabor filters for automatic document processing[J]. *Machine Vision and Applications*, 1992, 5(3): 169-184.
- (上接第3页)
- [14] CHEN Canfeng, WU Weiling, LI Zheng. Multipath routing modeling in Ad hoc networks: proc. of IEEE International Conference on Communications[C]. Seoul: [s. n.], 2005: 2974-2978.
- [15] SETTON E, ZHU Xiaoping, GIROD B. Congestion-optimized multipath streaming of video over Ad hoc wireless networks: proc. of International Conference on Multimedia and Expo(ICME'04)[C]. Taipei: [s. n.], 2004: 1619-1622.
- [16] KULIK J, HEINZELMAN W R, BALAKRISHNAN H. Negotiation based protocols for disseminating information in wireless sensor networks[J]. *Wireless Networks*, 2002, 8(2-3): 169-185.
- [17] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D, *et al.* Directed diffusion for wireless sensor networking[J]. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 2003, 11(1): 2-16.
- [18] NICULESCU D, NATH B. Trajectory based forwarding and its applications: proc. of the 9th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking[C]. [S. l.]: [s. n.], 2003: 260-272.
- [19] SOHRABI K, GAO J, AILAWADHI V, *et al.* Protocols for self-organization of a wireless sensor network[J]. *IEEE Personal Communications*, 2000, 7(5): 16-27.
- [20] PARK V D, CORSON M S. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks: proc. of the IEEE INFOCOM'97 [C]. [S. l.]: [s. n.], 1997: 1405-1413.
- [21] LEE S J, GERLA M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in Ad hoc networks: proc. of IEEE ICC 2001 [C]. [S. l.]: [s. n.], 2001.
- [22] SHAH R C, RABAEY J M. Energy aware routing for low energy Ad hoc sensor networks: proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC'02) [C]. [S. l.]: [s. n.], 2002: 350-355.
- [23] YIN Shouyi, LIN Xiaokang. Multipath minimum energy routing in Ad hoc: ICC'05[C]. [S. l.]: [s. n.], 2005: 3182-3186.
- [24] WANG Lei, SHU Yantai, DONG Miao, *et al.* Adaptive multipath source routing in wireless Ad hoc networks: IEEE ICC'01[C]. Helsinki, Finland: [s. n.], 2001: 867-871.
- [25] NASIPURI A, CASTANEDA R, DAS S R. Performance of multipath routing for on-demand protocols in mobile Ad hoc networks[J]. *Mobile Networks and Applications*, 2001, 6(4): 339-349.