

一种非均匀分布环境下的 WMSNs 路由协议

张 军, 王小明, 杨 涛

(陕西师范大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710062)

摘 要:针对无线多媒体传感器网络(WMSNs)节点能量受限和随机分布不均衡的特点,提出了一种在节点非均匀分布条件下适合 WMSNs 信息传输的路由协议,以达到缩短传输时延和延长网络生命周期的目的。该路由协议在选取前向邻居节点时,根据自身的邻居节点个数,选取一定方向角度内的节点作为前向节点集合。如果该区域内邻居节点为空,则动态地扩大区域范围,在传输数据时,根据前向节点的能量是否低于前向节点的平均能量一定阈值而选择传输与否,并利用 OPNET 仿真工具软件对该协议和 LEACH 协议进行仿真和比较,结果表明该协议具有良好的性能。

关键词:无线多媒体传感器网络;路由协议;生命周期;OPNET

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)07-0084-05

Nonuniform Distribution Environments Routing Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks

ZHANG Jun, WANG Xiao-ming, YANG Tao

(School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: For the characteristics of wireless multimedia sensor networks (WMSNs) which have energy-constrained nodes and the random distribution, proposed a non-uniform distribution of the nodes under the conditions of information transmission for WMSNs routing protocol, in order to achieve reduced transmission delay and the purpose of extending the network life cycle. The routing protocol selected prior to the neighbor nodes, the number of nodes according to their own neighbors, select a certain angle in the direction of the node to node, as the former set. If the area is empty, it does dynamic expansion of regional scope; When it transmits data, depending on the node before the energy is lower than pre-to the average energy of a certain threshold, the node then chooses transmission, and use OPNET simulation tools for the protocol and LEACH protocol simulation and comparison, then the results show that the protocol has good performance.

Key words: wireless multimedia sensor networks; routing protocol; life cycle; OPNET

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是由大量部署在观测环境中的微型廉价低功耗的传感器节点通过多跳通信方式形成的网络系统,传感器节点具有数据采集、处理、无线通信和自组织的能力,协作地完成大规模复杂的监测任务,网络中通常只有少量的汇聚(sink)节点负责发布命令和收集数据,实现与 Internet 的通信。

无线传感器网络与现有的无线网络相比具有一些

显著特点,比如:

- (1)大规模网络;
- (2)电源能量有限;
- (3)计算能力和存储能力有限;
- (4)自组织结构;
- (5)多跳通信;
- (6)动态性网络;
- (7)安全可靠;
- (8)应用相关性;
- (9)以数据为中心等。

然而,随着检测环境的日趋复杂多变,由无线传感器网络所获取的简单数据愈加不能满足人们对环境检测的全面需求。由此,无线多媒体传感器网络应运而生。

无线多媒体传感器网络(Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSNs)是在无线传感器网络的基础上

收稿日期:2009-10-26;修回日期:2010-01-28

基金项目:国家自然科学基金(60773224, 60970054);教育部科学技术研究重点项目(107106);教育部留学回国人员科研基金项目

作者简介:张 军(1983-),男,甘肃兰州人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;王小明,教授,博士生导师,研究方向为系统安全、普适计算、无线传感器网络。

加入了功能强大的视频、音频等多媒体采集设备,由多媒体传感器节点组成的一组具有感知、计算和通信能力的分布式网络系统^[1],通过节点上的多媒体传感器采集周边环境的多种媒体信息(音频、视频、图像等),以多跳方式将数据汇集到汇聚节点,实现全面、细粒度、精准信息的环境监测^[2]。

WMSNs 具有 WSNs 的基本特点,这使得 WSNs 的路由应用到 WMSNs 上成为可能。但是,WMSNs 又具有自身的特点,比如:

- (1)网络能力增强;
- (2)感知媒体信息丰富;
- (3)处理任务复杂;
- (4)数据传输量大;
- (5)带宽要求高;
- (6)更高的 QoS 要求保证;

(7)更高的优先级传输等特点,这就需要对 WSNs 的路由进行改进,以满足 WMSNs 的要求。

基于对 WMSNs 特性的考虑,WMSNs 路由协议的设计应该综合考虑以下条件:

- 1)采用查询模式或事件驱动模式以降低能耗;
- 2)具有能量感知功能;
- 3)必须具有服务质量意识,还要满足一定的多 QoS 要求;
- 4)尽量减少节点间通信;
- 5)满足用户需求的实时性要求;
- 6)达到用户提出的可靠性要求等。

1 研究现状

近年来,WMSNs 的研究已经引起了各国科研人员的密切关注,一些专家学者在该领域开展了探索性的研究,在 IEEE 系列会议(如 MASS、ICIP 等)、ACM 多媒体和传感器网络相关会议(ACM Multimedia、ACM MOBICOM、ACM WSNs 等)发表了一系列重要的研究成果。从 2003 年起,ACM 还专门组织国际视频监控与传感器网络研讨会(ACM International Workshop on Video Surveillance & Sensor Networks)交流相关研究成果。美国加利福尼亚大学、斯坦福大学、卡耐基-梅隆大学、马萨诸塞大学、波特兰州立大学等著名学府也都纷纷开始了 WMSNs 方面的研究工作,并取得了很多值得借鉴的成果。

文献[3]表明,设计基于 QoS 的具有地理位置感知和多路径保障的路由协议将大大提升 WMSNs 的网络性能,但只是提出了思想,并无具体实现。文献[4]提出了 WMSNs 中的第一个具有 QoS 感知的路由协议 SAR,该协议不仅考虑了每条路径的能量,还涉及端

端的延迟要求,以及待发送数据包的优先级。2006 年,Felemban 等人提出了 MMSPEED^[5]是一种提供包转发机制的多路多速率路由协议,每一跳都以区分优先级作为数据包转发调度策略,该方法涉及有效性和可靠性两方面,但以上两种协议设计复杂,能量和资源消耗大,不适于大型和拓扑频繁变化的网络,这就使得它的应用在 WMSNs 得到了限制。

ReInForm^[6]路由协议从数据源节点开始,考虑可靠性需求、新到质量等多种因素,确定所需的传输路径,实现可靠的数据传输。文献[7]提出通过选择资源充裕的传输路径以满足动态环境下的延迟需求,多条路径的选择并行进行,以确保找到最适合的一条路径,该方法同时兼顾了可靠性和实时性需求。QSR^[8]利用蚁群算法寻找最优路径,满足不同业务流的 QoS 需求。ASAR^[9]针对 WMSNs 中的三类基本服务:异常事件警告服务、信息查询服务以及流媒体查询服务,分析了不同服务的 QoS 需求,依据各类媒体数据包不同的 QoS 需求,选择相应的路由,以合理利用全网资源、提高网络性能。

LEACH^[10]协议主要考虑一簇内节点的能量消耗,目的是为了延长节点的工作时间,并且实现节点的能耗平衡。但是在 LEACH 协议中,簇头节点进行大量的数据转发,能量消耗很大。在数据传输过程中,多次选择簇头节点进行数据转发,从而导致某些节点过早死亡的局面,网络出现路由空洞甚至网络瘫痪。

基于以上分析,针对目前 WMSNs 路由协议的不足,文中提出了一种非均匀分布环境下的能量感知的地理位置路由协议(Under Nonuniform distributing Energy-aware and Location-aware Routing Algorithm, NELA)。

2 NELA 协议描述

2.1 算法思想

NELA 路由协议假设每个节点知道目的节点(sink 节点)的位置信息,当网络随机布置初始化以后,节点首先发现自己的邻居节点,并根据邻居节点的数量依据文中的算法在一定角度范围内选择前向邻居区域,在前向邻居区域中的节点为前向邻居节点,并在前向邻居节点中选择下一跳节点。当探测前向邻居节点为空时,扩大前向邻居区域的角度,以此来扩大前向邻居区域的范围,直到找到一个符合要求的节点。当网络中有数据需要转发或者发送时,节点依据邻居节点的剩余能量将数据转给符合能量要求的前向邻居节点,并依次传输,若该节点形成路由空洞将放弃数据转发,并告知上一节点重新进行前向节点的选取和转发。

由于 WMSNs 中的节点能量有限,个别节点能量枯竭后不能被利用,而且 WMSNs 中的节点也会被添加或者被移除,因此在邻居发现过程中,节点会按照一定的时间间隔周期性地探测邻居节点,寻找自己的邻居节点,以实现简单的网络拓扑变化的网络。

2.2 邻居发现

定义 1 节点 $v_i(x_i, y_i)$ 与 $v_j(x_j, y_j)$ 之间的距离 d_{ij} 可以用式(1)计算:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

定义 2 如果节点 v_i 和节点 v_j 满足关系:

$$R_i \geq d_{ij}$$

则称节点 v_i 和 v_j 互为邻居节点,其中 R_i 为节点 v_i 的通信半径。

则节点 v_i 的邻居节点的集合可表示为:

$$N(v_i) = \{v_j \mid R_i \geq d_{ij}, v_j \in V\} \quad (2)$$

网络初始化以后,每个节点发送广播路由请求分组 RREQ,探测邻居节点,在式(2)范围内的周边节点收到 RREQ 请求信息后,向发送节点回复请求应答信息 ADV,并把信息发送节点的 ID 加入自己的邻居列表 $N(v_j)$ 中,源节点收到 ADV 应答信息后,将该节点的 ID 加入自己的邻居列表 $N(v_i)$ 中,所有节点完成邻居发现过程。

2.3 路由探测

当节点定义好邻居列表集合以后,根据邻居节点的个数和目的节点(sink 节点)的地理位置信息,在一定方向内选取前向邻居节点。首先,设节点的邻居列表集合的大小为 $N(v_i)$,当 $N = 0$ 时,邻居节点个数为 0,重新进行邻居探测,如果经过邻居发现后 N 依然为 0,则说明该节点为空节点,不能进行数据传输和转发,间隔一段时间片后再次进行邻居发现,这是因为 WMSNs 是可移动网络,过一段时间片之后该节点可能不为空节点,因此,需要周期性地发现和更新邻居节点。

当 $1 \leq N \leq 6$ 时,全部的节点作为前向节点,在这些节点中选择距离目的节点最近的节点作为下一跳节点,邻居节点个数较小时,可以通过单个计算来判定哪个节点更优,以节省 WMSNs 宝贵的能量,为了防止形成路由环路,在这种情况下,需要对上一跳节点和下一跳节点进行标记,在信息传输时,标记的节点不能作为下一跳节点,如果形成了路由环路,在形成环路的节点处向上一跳节点进行回退。

当 $N > 6$ 时,连接数据转发节点和 sink 节点作为 x 坐标轴,前向节点的区域大小为:

$$a = 2 \times \frac{360}{\log_2 n} \quad (3)$$

其中, a 为以 $a/2$ 的偏角,做 x 轴正向和反向夹角,这个大小为 a 的扇形区域就为前向邻居区域,在前向邻居区域中的节点为邻居节点,在邻居节点中选择距离目的节点最近的节点作为首选下一跳节点,并根据式(8)计算能量条件,如果满足,则进行数据转发或传输(如图 1 所示),图中 B 节点代表源节点, A 节点代表目的节点,以下同,扇形 $CEDB$ 内的节点代表前向邻居节点,用深色颜色表示。

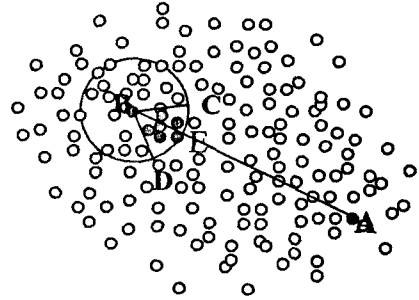


图 1 邻居节点个数大于 6

如果前向区域内节点个数为 0,则扩大扇形区域,将前向区域扩大到 $2a$ 的范围,如果邻居列表集合依然为空,则继续扩大。

当邻居列表扩大到该扇形区域为圆的一半时,如果邻居列表集合依然为空,则反向延长 x 轴:

$$d = 2 \times \frac{r}{\log_2 n} \quad (4)$$

以 $x = -d$ 的长度做 x 轴的垂直线 y' ,在轴 y' 以内的节点作为该节点的前向邻居节点集合,如果该区域依然为空则继续以 $-2d$ 的长度扩大前向区域,直至扩大到整个圆,在扇形 CDE 内的节点为前向邻居节点(如图 2 所示)。

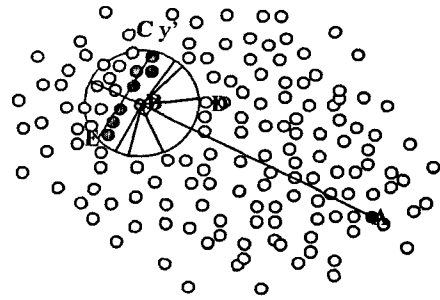


图 2 垂直扩大前向区域

考虑到由于 WMSNs 是随机布设的,在某个区域内可能聚集着大量的 WMSNs 节点,因此对该特殊情况也要考虑,在扇形 CDE 内的节点为前向邻居节点(如图 3 所示)。

对于上述的特殊情况,首先计算邻居节点的个数(记为 N),连接发送节点和 sink 节点作为 x 轴,通信半径为 r 的圆和 x 轴的焦点(记为 D),以过 D 点向圆心内距离 d 的长度做 x 轴的垂直线 y' ,在轴 y' 和圆的范

围即为前向邻居区域,如果该区域依然为空则继续以 $2d$ 的长度扩大前向区域,直至扩大到整个圆(如图3所示)。

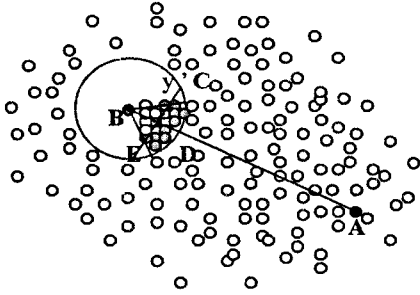


图3 垂直扩大邻居区域

2.4 信息传输

定义3 传感器节点的能量消耗主要分为两大部分,信息发送模块和信息接收模块的能量消耗,其中,信息发送模块能量消耗计算公式为:

$$E_{Tx}(k, d) = k \times E_{elec} + k \times E_{trsm} \times d^n \quad (5)$$

信息接收模块的能量计算公式为:

$$E_{Rx}(k) = k \times E_{elec} \quad (6)$$

其中, k 为数据的字节大小, $E_{Rx}(k)$ 为接收数据能量消耗, $E_{Tx}(k, d)$ 为传输数据能量消耗, d 为传输距离,参数 n 满足关系 $2 < n < 4$ 。

定义4 更新邻居列表以后,每个节点求出其所有邻居节点的平均剩余能量,用 E_{aver} 表示节点 v_i 的半径内所有邻居节点的平均剩余能量, $v_j (1 \leq i \leq m, i \neq j)$ 代表节点 v_i 半径 r 内的邻居节点, $E_{residual}$ 表示节点的剩余能量, m 表示所有邻居节点的数量,则 $E_{aver}^{[11]}$ 为:

$$E_{aver} = \frac{\sum_{i=1}^m v_j E_{residual}}{m} \quad (7)$$

当 WMSNs 采集到数据或者需要数据转发时,进入数据转发阶段,进行数据传输。首先,源节点(记为 A)计算前向邻居集合节点的平均能量 E_{aver} ,接着,在前向邻居集合中选择距离目的节点最近的节点作为首选下一跳节点(记为 R),节点 R 的剩余能量为 E_R ,如果:

$$E_R \geq E_{aver} \times 0.8 \quad (8)$$

则 R 节点作为下一跳节点,进行数据转发和传输,否则,在前向邻居集合中重新选择距离目的节点次近的节点作为下一跳节点,继续比较,直至成功。

2.5 算法执行步骤

本算法执行步骤具体如下:

步骤1:将 200 个传感器节点随机放置在 200×200 平方米的网络中,形成网络拓扑图,完成网络的初

始化;

步骤2:根据式(1)和式(2)寻找邻居节点,完成邻居发现过程;

步骤3:计算邻居列表里的邻居个数 N ,根据路由探测方法寻找下一跳节点的范围和 ID,实现数据转发和传输。

① 如果邻居节点个数 N 在 $1 \leq N \leq 6$ 内,全部的邻居节点作为前向邻居,根据式(8)寻找适合能量要求的节点作为下一跳节点;

② 如果邻居节点个数 $N > 6$,根据式(3)计算前向邻居节点区域,并根据式(8)计算能量条件,寻找下一跳节点;

③ 如果出现图(3)所示的特殊情况,根据式(4)计算前向节点区域,并根据式(8)计算能量条件,寻找下一跳节点;

④ 当找到满足条件的下一跳节点后,进行数据传输或转发。

3 实验仿真及比较

文中采用 OPNET (Optimized Network Engineering Tool) 仿真软件进行仿真。OPNET 公司起源于麻省理工学院,成立于 1986 年。1987 年 OPNET 公司发布了它的第一个商业化的网络性能仿真软件,提供了具有重要意义的网络性能优化工具,使得具有预测性的网络性能管理和仿真成为可能。至今 OPNET 已经发行到了 10.0 以上版本。它的产品线除了 Modeler 外,还包括 IT Guru、SP Guru、OPNET Development Kit 和 WDM Guru 等。OPNET 被 NET WORK WORLD 评选为“世界级网络仿真软件”,OPNET 仿真工具现已成为主流的网络仿真软件。

OPNET Modeler 提供了三层建模机制,分别在进程层、节点层和网络层进行,由下到上的建模。同时在仿真的过程中它采用了离散事件驱动的模拟机理。

本实验仿真参数如下:

场景范围: 200×200 平方米;节点个数:200 个;源节点个数:4 个;目的节点个数:1 个;发包间隔:恒定分布(0.05);最大传输半径 10 米;包大小:恒定分布(9600);比特率:2Mb/s;节点的初始化能量为 10J,在仿真实验中,根据能量公式(5)和公式(6)计算节点的能量消耗,当 10% 的节点能量耗尽时,结束仿真。

图4是 LEACH 路由协议和 NELA 路由协议的节点剩余能量消耗的比较,其中下面一条线是 LEACH 路由协议的能量消耗,上面一条线是 NELA 路由协议的节点剩余能量的消耗,从仿真结果很清晰地看出, NELA 路由协议的剩余能量比 LEACH 路由协议在同

一时间高很多、而且生命周期延长 3 分钟左右,比 LEACH 协议更能节省无线多媒体传感器网络宝贵的能量,使得无线多媒体传感器网络在网络的传感器数量、平均能量消耗、生命周期方面表现出良好的性能,为更好地提高无线多媒体传感器网络的性能提供了可能。

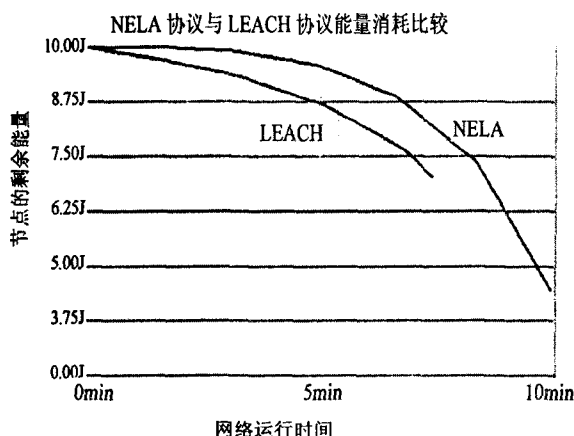


图 4 LEACH 协议和 NELA 协议的能量消耗比较

4 结束语

作为无线传感器网络的高级形式,无线多媒体传感器网络在军事、民用、商业等领域具有广阔的应用前景。虽然目前研究取得了一定成果,但是距离实际应用相差有一定距离^[12]。

文中针对无线多媒体传感器网络的节点分布不均匀性和节点剩余能量的不均衡性,提出了一种在节点非均匀分布的条件下适合 WMSNs 信息传输的能量感知地理位置路由协议 NELA, NELA 路由协议在选取前向邻居节点和传送数据阶段对节点的选取进行了改进和优化,通过节点的邻居节点的数量,动态地选择前向区域,适应了非均匀分布的环境,并选取距离目的节点最近和尽量选择剩余能量大的节点作为转发节点的改进和优化算法。实验仿真结果表明, NELA 路由协议与 LEACH 路由协议相比较,明显地延长了网络的生命周期,均衡了网络中节点的能量消耗,具有良好的性能。

参考文献:

[1] Tao D, Ma Huadong, Liu Yonghe. Energy - Efficient Cooperative Image Processing in Video Sensor Networks[C]//Proc.

of the 2005 Pacific - Rim Conf. on Multimedia. Berlin: Springer - Verlag, 2005: 572 - 583.

- [2] Ian F A, Melodia T, Chowdhury K R. A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks[J]. Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2007, 51(4): 921 - 960.
- [3] Eren G, Akan O B. Multimedia Communication in Wireless Sensor Networks[J]. Annales Des Telecommunications, 2005, 60(7): 872 - 900.
- [4] He T, Stankovic J A, Lu C Y, et al. SPEED: A Stateless Protocol for Real - Time Communication in Sensor Networks [C]//International Conference on Distributed Computing Systems 2003. Providence, RI: [s. n.], 2003: 204 - 223.
- [5] Akkaya K, Younis M. An Energy - aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks. Piscataway, USA: [s. n.], 2003: 710 - 715.
- [6] Kang Jaewon, Zhang Y Y, Nath B, et al. Adaptive Resource Control Scheme to Alleviate Congestion in Sensor Networks [C]//Proceedings of the First Workshop on Broadband Advanced Sensor Networks (BASENETS). San Jose, CA: [s. n.], 2004.
- [7] Deb B, Bhatnagar S, Reinforce B N. Reliable Information Forwarding using Multiple Paths in Sensor Networks[C]//Proc. 28th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2003). Bonn, Germany: [s. n.], 2003.
- [8] Nesrine O, Abdelhamid M. QoS Dynamic Routing for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Quality of Service & Security for Wireless and Mobile Networks. Terronmolinos, Spain: [s. n.], 2006: 45 - 50.
- [9] Su Yan, Ma Huadong, Liu Liang. ASAR: An ant - based service - aware routing algorithm for multimedia sensor networks[J]. Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 2008, 39(1): 25 - 33.
- [10] Heinzelman W R, Chandrakasan A. Energy - Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//In: Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Science. Hawaii, USA: [s. n.], 2000.
- [11] 刘明, 曹建农, 程桂海. EADEEG: 能量感知的无线传感器网络数据收集协议[J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1092 - 1109.
- [12] 罗武胜, 翟永平, 鲁琴. 无线多媒体传感器网络研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(6): 1511 - 1516.

(上接第 83 页)

- [J]. 微计算机信息, 2008(18): 68 - 69.
- [10] 张成才, 孙喜梅, 黄慧. SDE 的实体 - 关系模型空间数据管理方式研究[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(2): 199 - 201.

- [11] 张飞. 基于 ArcSDE 的空间数据库设计[J]. 技术与市场, 2008(8): 62 - 63.
- [12] 张佐帮, 尚颖娟. 基于 ArcSDE 的空间数据组织和管理[J]. 农业网络信息, 2007(9): 56 - 57.