

基于 Anycast 的无线传感器网络多基站路由算法

林海峰,刘云飞*

(南京林业大学 信息科学技术学院 南京 210037)

摘要 提出了一种基于多基站的无线传感器网络 Anycast 路由算法,算法为网络中每个基站都建立一棵自己的 Anycast 树,网络中所有节点选择路径开销最小的邻居节点加入到对应基站的 Anycast 树中.该 Anycast 多基站路由算法可以根据不同的网络时延需求设置不同的权重参数来选择最优的路径,以达到实现不同时延要求无线传感器网络的应用.所有源节点采集的数据根据其加入的 Anycast 树的树状结构进行数据传输并送达基站.仿真实验表明:提出的 Anycast 路由算法在多基站的无线传感器网络中可以有效降低网络能耗和明显延长网络生命周期,较好地解决多基站的无线传感器网络架构通信模式问题.

关键词 无线传感器网络; Anycast 路由算法; 多基站

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **文章编号** 1672-4321(2018)01-0120-05

Routing Protocol Based on Anycast Scheme for Wireless Sensor Networks with Multiple Sinks

Lin Haifeng, Liu Yunfei

(College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract To address the sinks selection and routing protocol design problem in the process of data transmission in wireless sensor networks with multiple sinks, a communication algorithm based on Anycast communication techniques is provided. For each sink, an Anycast tree is established, where sink is the root and all nodes choose to join in an Anycast tree according to the path cost model. In the process of route establishment, according to the communication quality requirements, a sensor will select an appropriate node as its parent node, and forms an optimal route ultimately. The data generated by sources will be transferred to the nearest sink node along the Anycast tree. Anycast scheme can resolve the sink selection and data transmission in wireless sensor network with multiple sinks effectively. Simulation results show that Anycast routing model proposed can reduce the energy consumption and prolong the network life effectively.

Keywords wireless sensor networks; Anycast routing algorithm; multiple sinks

随着无线传感器网络的广泛应用,不同应用的无线传感器网络的时延要求也各不相同,单基站的通信模式已经不能满足低时延网络的要求.在单基站的无线传感器网络架构中,用来进行数据采集和数据转发的中继节点分布于基站四周,因而此类中继节点的能量消耗极快,由此会造成网络生命周期较短的问题^[1].而在节点通讯距离固定的网络中,不论采取何种最优的路由算法,所有不在基站通讯半径内的节点都需通过在基站通讯范围内的中继节点转发其采集的数据给基站,此类中继节点的生命周

期将远远低于其它节点.由此可见此类无线传感器网络的生命周期可以由基站通讯半径内的中继节点决定,故而无论何种类型最优路由或低能耗路由算法在此类无线传感器网络中都不能解决中继节点能耗过大而导致整个网络生命周期较短的问题.

为了提高无线传感器网络的生命周期和节点负载均衡等问题,可以在无线传感器网络中架设多个基站^[2].对此类多基站的无线传感器网络,因为考虑到所有的基站具有相同的功能,且由单基站的无线传感器网络组合或叠加而成的网络仍然不能解决基

收稿日期 2017-07-22 * 通讯作者 刘云飞,研究方向:林业物联网, E-mail: lyfnjfu@126.com

作者简介 林海峰(1981-),男,讲师,博士,研究方向:无线传感器网络, E-mail: haifeng.lin@njfu.edu.cn

基金项目 江苏省自然科学基金资助项目(BK20141474),南京林业大学青年科技创新基金资助项目(CX2016024)

站周边节点能耗大的问题,所以多基站无线传感器网络路由算法要比单基站的无线传感器网络复杂得多.通常在单基站的无线传感器网络路由算法中只考虑最优路径的建立,而在多基站的无线传感器网络中,在最优路由选择之前,需要对基站进行选择从而确定相对节点的最优基站.数据采集节点把采集到的数据发送给其中一个最优基站,因此在多基站的无线传感器网络路由算法里需要首先设计最优基站选择方法.无线传感器网络中的节点如何选择最优的基站是多基站无线传感器网络路由算法的最重要的研究方向,Anycast 技术可以有效地解决多基站无线传感器网络最优基站选择的问题.

1 相关工作

单基站无线传感器网络结构、通讯协议和路由算法在 TCP/IP 协议下的 Anycast 技术有很多学者进行了研究^[3].例如在域名解析服务中,可以由服务器集群提供域名解析服务,这里使用 Anycast 技术查询域名解析的根服务器^[4];在分布式服务器系统中同样可以使用 Anycast 技术进行最优服务器的选择^[5].使用 Anycast 技术解决 IP v6 和 IPv4 的网关接入已经越来越得到重视.文献[6]提出了基于 DSR 和 Anycast 技术的扩展路由算法 A-DSR,在无线传感器网络中 A-DSR 是第一个采用 Anycast 技术的路由算法.在文献[7]中 Peng 等人提出了基于 DSR 的 Anycast 路由协议 ARDSR.在文献[8]中,作者采用 Anycast 技术与泛洪协议,通过对 TORA 协议的扩展,构成了一种区域地域传播服务 Geocasting 算法.

Liu 等人^[9]针对基于 WSNs 的多源多基站情况,提出 Potential Field Estimation Algorithm,在此协议中网络开销可以通过其提出的分布式势场预测模型来提高网络自适应能力并明显降低网络开销.在文献[10]中 Hou 等人提出分簇的路由算法,在分簇的无线传感器网络中所有结点被分为三类:普通节点、簇头和基站.Hou 提出一个基于启发式最优基站选择路由算法,此算法中各传感器节点在选择最优基站后给出 Anycast 数据流.文献[11]中 Jqbal 提出一种基于递归的聚合分簇算法,此算法将无线传感器网络的路由目标转化为一个一跳的路由目标,因此基于此协议的无线传感器节点在多跳选择时只需根据自身一跳节点的信息作出最优选择.文献[12]中 Qi 等引入数据聚合的路由算法.文献[13]和文献[14]中 Kim 等在 Anycast 路由中考虑睡眠-唤醒机

制,根据下一跳的睡眠-唤醒机制情况及 Anycast 的优先策略,通过在 MAC 层选择最优的下一跳节点得到最优的点到点 Anycast 时延.睡眠-唤醒机制在节省能耗、延长网络生命周期上非常有效,但同时此机制会在通讯过程中出现等待睡眠节点的情况,这会增大网络延迟,不能应用在实时低延迟的网络中.

本文在多基站的无线传感器网络中引入 Anycast 技术,提出的路由算法和当前的单基站和多基站路由算法有所不同.无线传感器网络中各节点根据各自路径选择并以该基站为树根选择最低开销路径建立对应的 Anycast 树,各节点采集的数据根据其所属的 Anycast 树被传输到对应的父节点,最终传输到基站节点.

2 无线传感器网络系统模型

2.1 拓扑和能量模型

本文将多基站的无线传感器网络看成一个无向图 $G(V, A)$,其中 V 是多基站的无线传感器网络中节点和基站的集合,所有节点与基站之间经过一跳或多跳相连接, A 是所有连接的集合.若 $i \in A$ 的节点的邻居节点集合为 S_i ,则 i 可以与 S_i 内的所有节点直接传输数据.在网络中大量的源节点和多个基站随机分布,源节点可以将采集的数据通过一跳或多跳发送至某一个基站.

本文中多基站的无线传感器网络各节点的能耗主要涉及以下几种模式:数据采集、空闲、通讯侦听、数据接收和数据发送. e_g 表示采集一个字节数据的能量消耗, e_s 表示节点空闲时的能耗,所有节点的 e_g 和 e_s 是一样的.节点的数据接收和数据发送所消耗的能量较大,是节点主要的能耗模式.本文采用文献[15]中提出的第一阶无线电波能量模型,即一个字节数据发送的功率为 $\varepsilon_{elec} = 50 \text{ nJ}$,其放大增益为 $\varepsilon_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$,则节点接收一个字节数据所消耗的能量为 $e_r = \varepsilon_{elec}$.任意节点发送单位字节数据到其邻居节点 j 的能量消耗为:

$$e_{ij} = \varepsilon_{elec} + \varepsilon_{amp} \cdot d_{ij}^n. \quad (1)$$

这里 d_{ij} 表示节点 i 的传输距离, n 表示路径损耗的模型参数, n 的取值范围在 2 到 4 之间, n 为 2 表示自由空间信道模型, n 为 4 表示多经衰落信道模型^[16]. e_l 表示数据侦听的能耗,通讯侦听的能量消耗基本等同于数据接收的能量消耗.令 w_i 表示节点 i 向基站发送一个字节数据的能量消耗,则有:

$$w_i = e_s + e_g + e_l + e_r + e_{ij}, \quad (2)$$

由于节点在空闲时的能耗可以忽略不计,所以:

$$w_i = e_g + e_l + e_r + e_{ij}. \quad (3)$$

2.2 路径选择

无线传感器网络路由算法目标是建立满足应用的最优路径,本文中路由算法可以表示如下:

$$\phi = \phi' + \sum_{i \in V} \alpha_k \cdot metric_i, \quad (4)$$

其中 ϕ' 表示从某节点到邻居节点路由建立的开销, $metric_i$ 是多跳路径、字节数据传输能耗和剩余能量的表示, α_k 是 $metric_i$ 计算路由开销的权重,根据不同多基站无线传感器网络应用的需求,在路由算法里权重可以根据需求做出相应的改变来影响路由开销的结果.在本文的 Anycast 路由选择算法中,节点能量的消耗主要考虑四个部分:路径跳数、路径能耗、路径延迟和节点剩余能量.因此路由开销为:

$$\phi = \phi' + \alpha_1 \cdot hop_i + \alpha_2 \cdot w_i + \alpha_3 \cdot delay + \alpha_4 \cdot E_i. \quad (5)$$

本文中 $hop_i = 1$, w_i 表示节点 i 向其所选择的最优基站发送一个字节数据的总能耗, $delay$ 表示数据从某一个节点发送到其父节点的时间, E_i 表示这一节点在发送数据前的剩余能量.根据不同应用的需求,权重的设置可以不同.本文的 Anycast 路由选择算法中,如果只考虑节点的剩余能量问题,那么时延需求的参数权重可以设置为 $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = (0, 1, 0, 0)$,即本文的 Anycast 路由选择算法主要用来进行多跳路径的选择.

3 基于 Anycast 通信模型

3.1 Anycast 树的建立

所有基站节点(Sink Node)都建立一个对应的 Anycast 树,树的根为基站,其它节点可以从 Anycast 树中选择路径转发数据到对应的父节点,一直发送到基站节点.本文中基于多基站无线传感器网络中所有节点都必须加入到一棵最优的 Anycast 树中,本文提出的多基站路由算法的 Anycast 树形成算法如下.

每个基站及节点都要向它们的邻居节点进行子节点需求广播(CRQ),其中 CRQ 包含基站或节点位置信息、在 Anycast 数中的地址、路径开销 ϕ 、下一跳的地址和节点地址.当 CRQ 来自某一个基站节点,且路径代价为零和下一跳节点地址为空时:在收到 CRQ 后,检查 CRQ 中的 Anycast 地址,若地址为空,表示发送 CRQ 的节点已经加入到某棵 Anycast 树

中,此节点将 CRQ 中内容写到父节点表中;如果 Anycast 地址不为空,表示发送 CRQ 的节点还不在于任何一棵 Anycast 树中,此节点忽略收到的 CRQ.

每个节点在收到 CRQ 后,需要设置一个递减的计数器,在计数器没有归零前,可以继续接收 CRQ,在收到的 CRQ 中根据路径选择开销最小的 ϕ 作为父节点,同时发送 RREP 作为回答.若路径开销 ϕ 是相等的,则选择第一收到的 CRQ 作为父节点.父节点在接收到子节点的 RREP 后,需要向子节点发送 ACK 消息,子节点收到 ACK 后路径建立完成.本文的无线传感器网络模型中有多个基站,且每个基站都可以和其子节点直接传输数据,基站可以不保留其子节点的信息,但是子节点需要保留其父节点的信息.每个子节点在加入到其所属的 Anycast 树中后,用其父节点地址表示下一跳的地址,并计算路径开销 ϕ ,其它相关参数随之更新.

3.2 Anycast 模型数据传输

无线传感器网络中所有节点都加入到 Anycast 树中后,Anycast 组中所有的基站节点都会建立以其为树根的 Anycast 树,此时 Anycast 树建立完成.源节点通过 Anycast 树结构将其采集到的数据传输给其父节点,父节点在去除数据冗余后对数据进行聚合压缩并转发到其 Anycast 树中的父节点,数据沿着 Anycast 树一直被传输至基站节点,如图 1 所示.基站节点在收到其 Anycast 树中所有源节点采集到的数据后,进行聚合,将压缩后的数据发送到无线传感器网络的终端或其它指定设备.数据在 Anycast 树中传输时,源节点不知道其采集到的数据被其父节点转发到 Anycast 树的哪一个基站节点,但数据一定会被发送给多基站中的某一个基站,所有 Anycast 树状路由由协议对节点是可见的.给每个基站建立一棵 Anycast 树是 Anycast 路由协议的最大特点,通过多基站多棵 Anycast 树选择可以大幅降低网络负载,减轻中继节点的数据转发压力,降低数据延迟. Anycast 树是根据选择路径开销最小的 ϕ 建立的,所以 Anycast 树可以通过调整权重参数来满足不同时延要求的无线传感器网络,可以有效地均衡无线传感器网络中节点的能耗和降低数据时延.

源节点采集到的数据有很大的时间空间相关性,基站节点可以通过数据聚合来去除大部分的数据冗余.本文的 Anycast 树状路由由算法里,源节点采集的数据有可能被路由发送到备用的基站,所有基站节点之间的数据也有很大相关性,需要数据聚合,否则基站节点与无线传感器网络终端的数据传输会

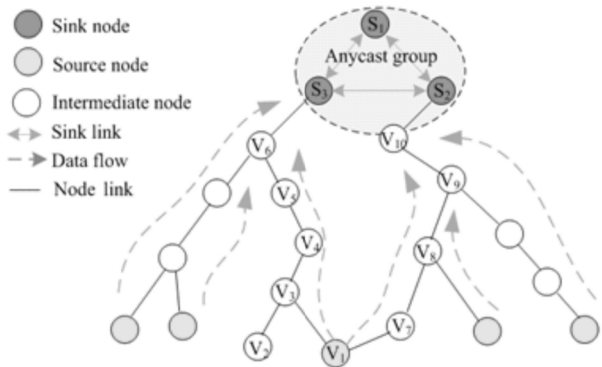


图 1 Anycast 模型的数据传输
Fig.1 Data transfer of anycast model

非常频繁,容易被窃听和造成无线传感器网络的通讯干扰.故在本文提出的 Anycast 路由算法里,基站节点也会形成一棵树,随机选择一个基站作为根节点,基站将其 Anycast 树中源节点采集到的数据发送给根基站,由根基站进行数据融合.

4 仿真

本文采用 NS-2 作为仿真平台,在 100M×100M 的平面上随机产生 3 到 5 各基站节点和 100 个源节点和中继节点,所有节点的位置随机分布,所有节点的通讯半径固定不变,最大通讯半径为 R=100M,在通讯半径内的任意两个节点可以直接传输数据,每个数据包为 512 字节,每个节点的初始能量为 100mJ,每发送一个单位数据的能耗系数为 50 nJ/bit 和 0.0013 pJ/bit/m²,每接收一个单位数据的能耗系数为 50 nJ/bit.

在无线传感器网络中分别设置 3 个、4 个和 5 个基站,不同数量基站的无线传感器网络能耗如图 2 所示.随着时间的推移,网络成线性增加,相应网络生命周期降低.在图 2 中可见,在基站数量增加后,网络能耗曲线下降,网络能耗降低,网络生命周期提高.当无线传感器网络中基站数量增加后,Anycast 树将对应增加,源节点采集到的数据发送到基站的路径开销会降低,如此可以降低网络能耗同时延长网络的生命周期.由图 2 可见,在实验区域内基站由 3 个增加到 5 个后,网络能耗可以降低三分之一,故新增加的 2 个基站可以大幅降低其周边的节点能耗.当然随着基站数量的增加,其对网络能耗降低和生命周期延长的效应也会随之降低.

本文将提出的 Anycast 路由算法和 Leach 路由算法、Aodv 路由算法进行了比较,如图 3 所示.图 3 表示采用不同路由算法的相同网络配置的能耗对

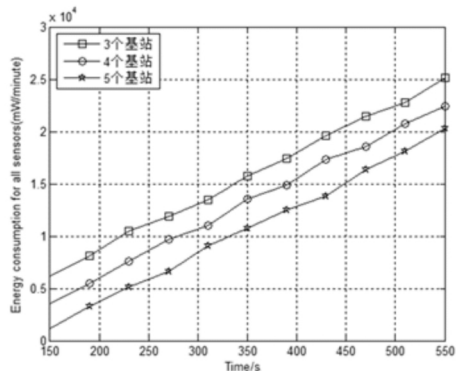


图 2 当基站数分别为 3, 4, 5 时的网络能耗

比.随着时间的流逝,源节点采集到更多的数据,并向基站进行发送,节点的能耗增加.从图 3 中可以看到,在同样的网络配置下,在同一时间点,本文提出的 Anycast 路由算法比 Leach 路由算法和 Aodv 路由算法所消耗的能量要小.在 Aodv 路由算法中,由于源节点采集的数据被中继节点转发的次数较多,故网络的能耗也最大.

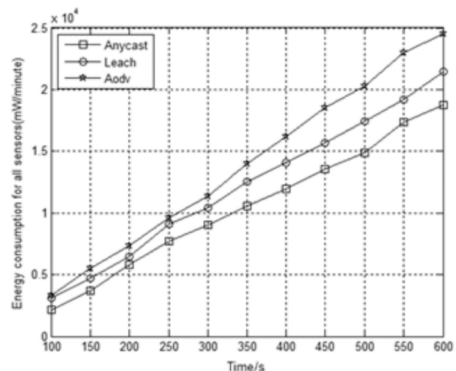


图 3 不同路由算法的网络能耗

Fig.3 Network energy consumption of different routing algorithms

在 Aodv 路由算法里,虽然节点可以通过保存路由信息来降低能耗,但是 Aodv 路由算法里的节点需要不断发送路由请求的数据,而路由请求数据的发送会增大节点的能耗.所以 Aodv 路由算法会比 Anycast 路由算法和 Leach 路由算法产生更大的能耗.特别是当时间增加后,能耗的差距就越来越明显.在 Leach 路由算法里,节点的通讯半径通常较大,节点发送数据时会消耗更多的能量,同时簇头的选择也会消耗大量的能量.而在本文提出的 Anycast 路由算法里,多基站的设置可以有效地降低整个网络的能耗,同时各节点的能耗相对均衡,可以明显提高网络的生命周期.

5 结语

本文提出了一种基于多基站设置的 Anycast 路由算法和 Anycast 树状结构,通过为每个基站建立一棵 Anycast 树,所有节点可以通过选择最小路径开销来加入到其中某一个基站的 Anycast 树.在 Anycast 树的建立过程中,可以根据不同网络时延的需求,设置对应的权重,来选择路径开销最小的父节点,并建立路径. Anycast 树构成后,源节点采集的数据会根据 Anycast 树结构被发送至这棵 Anycast 树的根,即发送到基站.本文提出的 Anycast 路由算法可以高效地应用在多基站的无线传感器网络中,实验结果表明本文提出的 Anycast 路由算法可以有效地降低网络能耗并明显延长网络的生命周期.

参 考 文 献

- [1] Thein M C M, Thein T. An energy efficient cluster-head selection for wireless sensor networks [C]//IEEE. 2010 International conference on intelligent systems, modelling and simulation (ISMS). Liverpool: IEEE, 2010: 287-291.
- [2] Shim Y, Kim Y. Data Aggregation with multiple sinks in Information-Centric Wireless Sensor Network [C]//IEEE. 2014 International Conference on Information Networking (ICOIN). Phuket:IEEE, 2014: 13-17.
- [3] Jiang J. Enhancing IP anycast with location redirection for stateful communication [J]. Computer, Intelligent Computing and Education Technology, 2014, 1(2): 63-67.
- [4] S Sarat, V Pappas, A Terzis. On the Use of Anycast in DNS [C]//IEEE. International Conference on Measurements and Modeling of Computer Systems. Alberta:IEEE, 2005.
- [5] Weber S, Cheng L. A survey of Anycast in IPv6 networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(1): 127-132.
- [6] J X Wang, Y Zheng, W Jia. A-DSR: A Based DSR Anycast Protocol for IPv6 Flow in Mobile Ad Hoc Networks [C]//IEEE. IEEE Proc of VTC2003. Jeju: IEEE, 2003.
- [7] G Peng, J Yang, C Gao. ARDSR: An anycast routing protocol for mobile ad hoc network [C]//IEEE. IEEE Circuits and Systems Symposium. Bryan: IEEE, 2004: 505-508.
- [8] Chen S K, Wang P C. Design and implementation of an anycast services discovery in mobile ad hoc networks [J]. ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS). 2011: 6(1): 2-11.
- [9] H Liu, Z L Zhang, J Srivastava, et al. PWave: A Multi-source Multi-sink Anycast Routing Framework for Wireless Sensor Networks [C]//IEEE. Proc of the 6th Networking Conference. Atlanta: IEEE, 2007: 179-190.
- [10] Y T Hou, Y Shi, H D Sherali. Optimal base station selection for anycast routing in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2006, 55(3): 1-9.
- [11] M Iqbal, I Gondal, L Dooley. Energy Aware Neighborhood Protocol for Anycast Routing in Ad Hoc Sensor Networks [C]//IEEE. Proc of IEEE ICON06. Singapore: IEEE, 2006: 13-15.
- [12] Qi H. Multi-Resolutions Data Integration Using Mobile Agents in Distributed Sensor Networks [J]. IEEE Transition Systems, Man and Cybernetics Part D Applications and Rev, 2001, 31(3): 383-391.
- [13] G Lu, B Krishnamachari, C S Raghavendra. An adaptive energy-efficient and low-latency MAC for data gathering in wireless sensor networks [C]//IEEE. Proc. IPDPS'04. Santa Fe: IEEE, 2004: 224-231.
- [14] J Kim, X Lin; N B Shroff, et al. On maximizing the lifetime of delay-sensitive wireless sensor networks with Anycast [C]//IEEE. Proc of INFOCOM 2008. Phoenix: IEEE, 2008: 807-815.
- [15] C Pa-tridge, T Mendez, W Milliken. RFC1546: Host Anycasting service [S]. IEFT, 1993.
- [16] Jia W, Zhou W, and Kaiser J. Efficient algorithm for mobile multicast using anycast group [J]. IEEE Proc Communications, 2001, 148(1): 14-18.

(责任编辑 雷建云)