

基于 Sun SPOT 平台的无线传感器网络多跳路由协议设计

李 洋¹ 赵蕴龙^{1,2} 宋洪涛¹ 姚念民¹

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)¹

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 211106)²

摘 要 多跳路由协议是无线传感器网络中的关键技术之一,针对传统多跳传输协议在无线传感器网络的实际应用中存在部署过程过于复杂等问题,设计了一种灵活实用的基于 Sink 节点控制的无线传感器网络多跳传输协议(Sink Controlling Multi-hop Protocol, SCMP)。Sink 节点通过发送命令信息实现对传感器节点的控制,并收集各个节点的路由信息从而获得全局路由,然后对传感器节点的数据传输进行进一步控制。在 Sun SPOT 平台上对 SCMP 进行了部署实验,结果表明,基于 Sink 节点控制的多跳传输协议更加方便灵活,在实际的无线传感器网络应用中具有一定的有效性和可行性。

关键词 无线传感器网络,多跳传输, Sink 节点, Sun SPOT

中图分类号 TP393.1 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.10.007

Design of Multi-hop Routing Protocol in WSN Based on Sun SPOT

LI Yang¹ ZHAO Yun-long^{1,2} SONG Hong-tao¹ YAO Nian-min¹

(School of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)¹

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)²

Abstract The multi-hop routing protocol is one of the key technologies in wireless sensor networks. The conventional multi-hop transmission protocols generate some problems in the actual application of wireless sensor networks, such as undue complexity of the deployment process. To solve these problems, we proposed a flexible and practical multi-hop routing protocol called SCMP (Sink Controlling Multi-hop Protocol), which is based on the sink nodes controlling. Sink nodes control sensor nodes by sending command packets to the whole topology, collect the routing information of each node to form the global route, and then control the data transmission of each node on the basis of the global information. We evaluated the SCMP by deploying it on the Sun SPOT platform. The results indicate that the new scheme is more flexible and practical, and has better system performance.

Keywords Wireless sensor networks, Multi-hops transmission, Sink nodes, Sun SPOT

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由大量部署在监测区域内的集成了信息采集、数据处理和无线通信等功能的微型传感器节点组成的 Ad Hoc 无线多跳传感器网络。WSN 的主要任务是节点协作感知、采集和处理覆盖范围内的对象信息,同时将监测到的数据信息发送给观察者^[1],可广泛应用于国防军事、工业控制、环境监测、交通管理等领域。同时,无线传感器网络作为普适计算的一个具体发展分支,近年来已经成为广受关注的研究热点。

多跳路由协议是无线传感器网络的关键技术之一,一个性能良好的多跳路由协议能够大幅提高网络的整体性能和传输效率。由于多跳无线网络具有动态拓扑、有限带宽、终端设备简单、信道数量受限等特点,因此要求运行在其上的路由协议收敛迅速、计算简单、资源开销小、简单实用。传统的多跳路由协议的实际部署过程过于复杂,当节点数量过多时会产生一些明显的不足,如资源开销过大、能耗过高。采用基于

Sink 节点对传感器节点进行控制管理的路由协议,能够一定程度上减轻上述弊端。

1 无线网络多跳路由协议的研究现状

近年来,随着多跳无线网络的研究升温,很多学者提出了不同的路由协议方案。MANET (Mobile Ad-hoc Networks)发布了 DSR, AODV, OLSR 等路由协议草案^[2,3],同时研究人员还取得了许多关于多跳路由协议的研究成果,如 DSDV 和 LEACH 等及其改进协议^[4,5]。目前,已有数十种多跳无线网络路由协议,可以从不同角度对其进行分类。按照是否使用 GPS 系统,可将其分为地理定位辅助路由与无地理定位辅助路由;按照路由发现策略,可将其分为先验式路由和反应式路由;按照网络逻辑视图,可将其分为平面路由和层次路由^[6]。在无线传感器网络中,由于传感器终端的能量的限制,一直以来基于能耗优化的路由协议也是研究的主要热点之

到稿日期:2015-06-01 返修日期:2015-09-12 本文受哈尔滨市科技成果转化项目(2014DB1AG022),黑龙江省自然科学基金(QC2015074)资助。

李 洋(1986—),男,博士生,主要研究方向为无线传感器网络与模式识别;赵蕴龙(1975—),男,博士,教授,主要研究方向为无线传感器网络、普适计算和可信计算, E-mail: zhaoyunlong@hrbeu.edu.cn。

一,上述的 LEACH 协议就是一种基于能量的路由协议。

基于现有的 ad hoc 网络路由协议的性能及 WSN 网络的特殊要求,WSN 网络的最优路由协议应当具有以下特征^[7]。

1)容错。网络中一个重大的问题就是网络的生存能力。生存能力是当前节点和链路故障时网络仍能运行的能力。WSN 本身就可以保证链路故障时网络的健壮性。同样,路由协议也应当支持链路失败时的路径重新选择。

2)负载均衡。由于无线传感器网络中具有路由功能的节点能够为数据包选择最有效的路径,因此它们可以保证很好的负载均衡。

3)减少路由开销。带宽预留对任何无线网络数据包的成功发送都是必需的。减少路由开销是很重要的,尤其是再次广播引起的开销。

4)可扩展性。无线传感器网络是可扩展的,可以处理成百上千的节点。因为网络的可操作性并不取决于单个节点,所以增加多个数据收集点或汇聚节点会很方便。因此,如果 WSN 中有大量的节点,路由协议的可扩展性支持是非常重要的。

5)QoS 支持。由于信道容量的限制、干扰的影响、大量数据信息需求的出现,对服务质量(Quality of Service, QoS)的支持逐渐成为无线传感器网络的关键需求。

2 基于 Sink 节点控制的多跳路由设计

考虑到在一般应用于环境监测等领域的无线传感器网络中节点的移动变化并不明显,同时要观察采集实时数据,所以数据的传输频率较高。另外一方面,监测工作要求数据要具有实效性,故延迟是需要尽量避免的一个弊端。因此,基于 Sink 节点控制的无线传感器网络多跳传输协议(Sink Controlling Multi-hop Protocol, SCMP)的设计采用表驱动路由(即先验式路由)协议的框架模式。

2.1 路由生成过程

首先,在路由生成之前,有必要先介绍网络的初始化过程。网络初始化的主要目的是让网络中的节点通过收发初始化信息来建立起网络拓扑关系以及获得周围邻居节点信息。在该协议中,采用广播本地节点信息数据包的方式来完成网络初始化工作。节点将自身的地址等信息写入数据包,然后广播给自己的所有一跳邻居节点,邻居节点收到数据包,将其中的源节点地址、跳数等字段读取出来,并添加到自己的路由表当中。这样,一轮初始化结束后,所有节点都维护了一个自身的路由表,其中包含到达周围一跳邻居节点的路由信息。但是,这种限制在一跳范围内的路由表并不能满足全网的数据传输,后面的工作就是各个节点与自己的邻居节点交换路由信息,将重复路由去掉,保留本地先前没有的路由信息。经过几轮路由表的交换,每个节点的路由表就更加完善了,其中包含了到达网络中各个节点的路由信息。图 1 所示为拓扑关系,经过初始化后各节点的路由表如图 2 所示,而图 3 则为通过交换路由信息,更新后的路由表。

通过上述策略就完成了路由的生成工作。每个节点各自维护一个路由表,符合表驱动路由协议的主要思想。当源节点向目的节点发送数据包时,根据目的节点地址查找路由表,选择合适的路径进行发送。

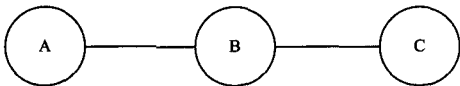


图 1 一个简单的拓扑关系

Destination	Next Hop	Metric
B	B	1

(a)

Destination	Next Hop	Metric
A	A	1
C	C	1

(b)

Destination	Next Hop	Metric
B	B	1

(c)

图 2 第一轮初始化后的各节点路由表

Destination	Next Hop	Metric
B	B	1
C	B	2

(a)

Destination	Next Hop	Metric
A	A	1
C	C	1

(b)

Destination	Next Hop	Metric
B	B	1
A	B	2

(c)

图 3 交换路由信息后的各节点路由表

2.2 路由选择机制

在 SCMP 中,路由的主要判据还是基于传输距离,即根据源节点和目的节点间的跳数来选择路由。同时,考虑到无线传感器网络中能量控制的重要性,还在其中加入了节点的电池剩余电量参数,该参数可以在 Sun SPOT 传感器平台上利用其提供的 API 函数获得,最后将距离和能量这两个因素综合起来作为路由的选择依据。在全局网络中,有可能存在多条到达目的节点的路由,这时需要依据某个标准选择较优的一条路由,这里不妨建立一个判据:

$$W_i = \alpha \times D_i + \beta \times \frac{1}{E_i} \quad (1)$$

其中, W_i 是节点 i 的路由权重, D_i 和 E_i 分别是节点 i 到达目的节点的距离和剩余能量, α 和 β 是权重系数,满足 $\alpha + \beta = 1$ 。节点 i 到达目的节点的距离越短,剩余能量越多,则 W_i 的值越小,节点 i 就越适合作为路由中的下一跳节点。

上述的路由选择策略体现了网络中节点的物理拓扑关系以及它们的剩余能量对路由选择所产生的影响,这种机制在实际的应用中有助于提高网络整体性能并延长节点寿命。本协议采用这样的路由选择机制也正是考虑到无线传感器网络一般应用于无人值守区域的监测采集工作,因此尽可能地减少能量消耗和路由成本是保证一个无线传感器网络工作性能最大化的关键。

2.3 路由维护策略

在无线传感器网络中,由于节点能量有限,节点数量较多,有时会发生节点失效或者新节点加入到网络拓扑中,这会影响到网络原来的拓扑关系以及数据传输路径。为了保证网络性能,需要更新节点信息,进行路由维护^[8]。

我们采用定期广播发送 Hello 信息的方法来探测节点周围的拓扑变化。这会出现两种情况:1)长时间没有收到某个节点的 Hello 数据包,可判定该节点已经失效,此时将路由表中含有该节点的条目删除;2)首次收到某节点的 Hello 数据包,可判定该节点为新加入节点,此时将该节点信息加入到路由表中并更新路由表。关于路由表的更新,这里引入一个序列号来表征路由的存在时间,在更新路由表时,用新的路由条目替换存在时间较久的路由。路由表的更新频率即 Hello 包

的发送时间间隔可以根据网络的稳定性以及节点的工作特性来确定。例如定点投放的传感器网络,其移动性不明显,节点的续航能力较强,网络拓扑结构稳定,这时可以将路由表的更新频率降低以节省路由开销和能量消耗。根据上述策略进行路由表更新后,SCMP 会重新按照前面提到的路由选择机制确定路由来传输数据。

2.4 Sink 节点控制

Sink 节点较普通的传感器节点有更强的处理能力、存储能力和通信能力,具有将传感器网络和外部网络连接起来、发布管理节点的监测任务、将收集到的数据转发到外部网络上等功能^[9]。Sink 节点可以是一个具有增强功能的传感器节点,有足够的能量供给更多内存与计算资源,也可以是一个没有监测功能仅带有无线通信接口的特殊网关设备。在 SCMP 中,我们更注重 Sink 节点的作用,将 Sink 节点对传感器节点的控制融合到路由协议当中。主要体现在以下几个方面:

(1) Sink 节点负责将一些基本的控制命令发送给网络中的各个节点,如网络初始化、开始采集、停止采集、路由协议选择等。主要采用广播的方式将命令广播给全网,同时会接收到节点的确认信息。

(2) 在网络工作一段时间后,可能部分节点的工作强度较大,剩余的能量较少,或者部分节点的目前工作没有必要,为了保证网络能量使用均衡, Sink 节点会以组播的方式发送命令让这些节点进入休眠状态,需要时再次唤醒。

(3) Sink 节点通过命令获取全局路由,即收集每个节点的路由信息。当需要对某单个节点进行控制时,如某个节点发生节点异常时, Sink 节点通过维护的全局路由向目标节点发送单播命令。

当整个协议运转起来后,节点采集的数据和 Sink 节点的命令可能同时需要转发,这时为 Sink 节点的命令包定义一个较高的转发优先级,使得命令能够第一时间被转发到受控节点。利用 Sink 节点对传感器节点的实时控制使得无线传感器网络在实际应用中的功能更加多样,控制更加灵活,网络性能更加稳定。

3 基于 Sun SPOT 平台的应用测试

3.1 Sun SPOT 平台概述

Sun SPOT 是 ORACLE 公司研发的新一代无线传感器网络硬件设备平台,目前已经广泛应用于物联网应用的研究^[10]。其节点设备采用了 32 位的高性能处理器 ARM920T、支持 Zigbee 的 CC2420 无线通信芯片和相应配套的 Squawk Java 虚拟机。

一个节点内置有温度、光强、三轴加速度传感器,节点获得各种传感器数据后通过 2.4GHz 无线信号发送给连接计算机的基站,控制端的观察者就可以实时地获取远程的数据信息。图 4 为 Sun SPOT 传感器节点的主要构成图,它主要由以锂电池为供电系统的 BATTERY 模块、基于 ARM 微处理器的 PROCESSOR BOARD 模块以及集成了温度、光照和加速度传感器的 SENSOR BOARD 模块构成,其中在 PROCESSOR BOARD 板上嵌入有基于 802.15.4 和 6LoWPAN(基于 802.15.4 标准,用于实现 IPv6 通信)标准的 Zigbee 传输模块,最大传输速率为 240kbps。

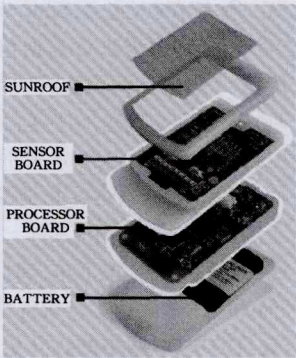


图 4 Sun SPOT 节点结构图

Sun SPOT 传感器设备采用 Netbeans 作为软件开发平台与 Java 语言无缝连接,并为开发人员提供了大量的应用编程接口,开发软件已经在 Windows XP, Macintosh OS, Linux, Solaris x86 等系统平台上通过测试并且能很好地支持这些平台。

本路由协议的设计、实现以及应用测试都是基于 Sun SPOT 平台完成的,在实际开发设计工作中,该平台提供了良好的开发环境。

3.2 基于 Sun SPOT 平台的应用测试

在 Sun SPOT 平台上,模拟运行了 SCMP 协议。运行环境设置 20 个随机分布的虚拟 Spot 节点和 1 个 Sink 节点,如图 5 所示。

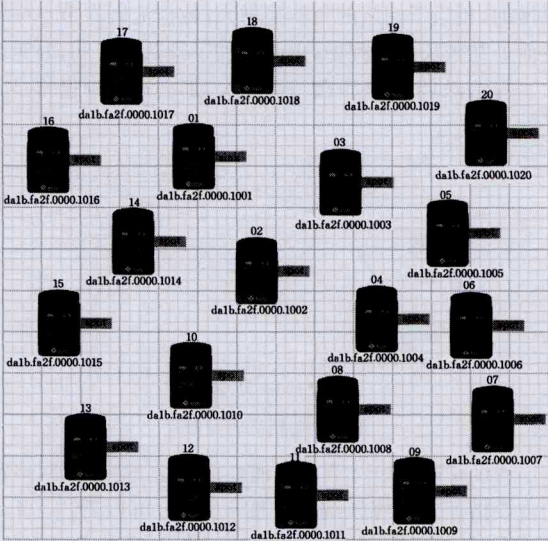


图 5 虚拟节点随机拓扑图

模拟测试过程中, Spot 节点实时发布当前的环境监测数据,测试参数如表 1 所列。

表 1 测试参数

参数	设定值
模拟场景大小	500×500m ²
节点个数	20
物理信道类型	无线信道
运输层协议	UDP
MAC 层协议	IEEE 802.15.4
节点通讯半径	200m 左右
网络接口队列大小	20
数据流业务类型	CBR
数据包大小	512B
节点初始能量	100
测试时间	120s

同时,路由选择依据式(1)中的参数 α 和 β 的初始值分别

设置为 0.7 和 0.3。所有节点(包括 Sink 节点)均开启 100 号、150 号、200 号端口,分别用来进行数据包传输、命令包传输以及路由信息传输。Spot 节点端监测的环境参数包括温度、光照、三轴水平加速度和三轴角加速度。每个节点都嵌入了预先编写好的控制程序,按照 SCMP 来进行数据传输,针对系统的主要特性包括端到端网络吞吐量、端到端时延及连通度做了数据统计,结果如图 6—图 8 所示。

网络吞吐量是在不丢包的情况下单位时间内通过的数据包数量,是网络性能的一个重要指标。统计结果如图 6 所示,随着 CBR 数据流数目的增加,网络的吞吐量上升,在达到 15 个 CBR 数据流以后,整体维持在 2Mbps 左右的水平;但是网络负载过高时,总体吞吐量会呈下降趋势。

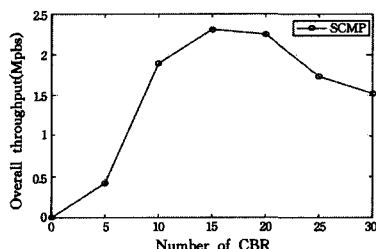


图 6 网络吞吐量图

端到端网络时延是网络中一对节点进行通信过程中数据收发的时间延迟,反映了网络繁忙程度,时延过高表明可能出现了网络拥堵的状况^[11,12]。统计结果如图 7 所示,随着 CBR 数目增加,相当于网络的负载量增大,数据流因在节点中等待转发而处在较长的队列中,由此增加了排队的时间,时延就会增大。当然,如果网络负载持续增大,那么这种延迟将是无法忍受的。

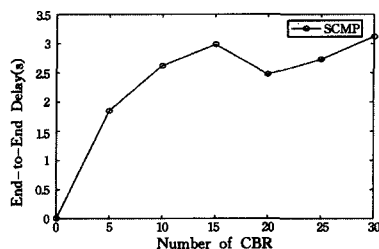


图 7 端到端时延图

连通度是网络中对节点连通性的反应,是确保网络可行性的一个重要指标。其统计结果如图 8 所示,可以看出,当 CBR 数目不大时,连通度变化并不明显;而当 CBR 数目不断增加,在达到 20 个 CBR 数据流以后,网络开始出现一定的拥堵,整体的连通度开始有明显的下滑,数据流由于在缓冲队列中等待导致数据无法按预期到达。同时,这种情况随 CBR 数目的增多而越发明显。

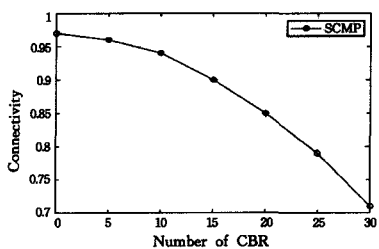


图 8 网络连通度

结束语 随着无线传感器网络的应用领域越来越广,针

对其多跳路由协议的研究也日益受到广大学者的关注。本文提出并设计了一种基于 Sink 节点控制的多跳路由协议——SCMP,该协议采用表驱动的路由框架。在路由生成阶段,每个节点维护一个自身到达任意节点的路由表,并根据路由维护策略定期更新路由信息。路由选择机制综合了距离因素和节点能量因素,使得路由的选择更加体现出能量均衡的特点,延长网络寿命,保证节点的工作时间。在实现基本的路由功能的同时,加入 Sink 节点对普通节点的控制机制,从而节点不再盲目地工作,通过以多种方式发送 Sink 节点命令,使得节点的工作状态和事件响应得到进一步的控制,整个网络的功能实现更加灵活,性能更加完善。在 Sun SPOT 平台上对 SCMP 协议进行了模拟测试,结果表明该协议能够保证传感器网络数据的正常传输,具有有效性和可行性。

参考文献

- [1] Dang D N M, Hong C S. A SINR-based transmission power control for MAC protocol in wireless ad hoc networks [C]// Communications and Electronics (ICCE). 2012; 103-107
- [2] Mobile Ad-hoc Networks (MANET)-Documents [OL]. [2012-5-22]. <http://datatracker.ietf.org/wg/manet>
- [3] Alturki R, Mehmood R. Multimedia Ad Hoc Networks: Performance Analysis, Computer Modeling and Simulation [C]// Second UKSIM European Symposium (EMS'08). 2008; 561-566
- [4] Manjunath M, Manjiah D H. Spatial DSDV (S-DSDV) routing algorithm for mobile ad hoc network [C]// 2014 International Conference Contemporary Computing and Informatics (IC3I). 2014; 625-629
- [5] Gambhir S, Fatima N. Op-LEACH: An Optimized LEACH Method for Busty Traffic in WSNs [C]// 2014 Fourth International Conference Advanced Computing & Communication Technologies (ACCT). 2014; 222-229
- [6] Nikodem J, Klempous R, Nikodem M, et al. Multi-hop and Directed Routing Based on Neighborhood Cooperation in WSN [C]// Intelligent Engineering Systems (INES). 2011; 221-227
- [7] Takahashi T, Asaka T. Autonomous Load Balancing by Multipath Routing in Wireless Mesh Networks [C]// 2014 Second International Symposium Computing and Networking (CAN-DAR). 2014; 292-295
- [8] Arebi P A. New Method for Restoration Broken Links in Wireless Ad-Hoc Networks by Estimation Energy Consumption [C]// Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSN). 2012; 377-381
- [9] Bian Qing, Zhang Yan, Zhao Yan-juan. Research on Clustering Routing Algorithms in Wireless Sensor Networks [J]. Computer Knowledge & Technology, 2010(2); 1110-1113
- [10] SunSPOTWorld [OL]. [2012-5-22]. <http://www.sunspot-world.com>
- [11] Couto D S J, Aguayo D, Bicket J, et al. A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing [J]. Wireless Networks, 2003, 11(4); 419-434
- [12] Amin R, Ashrafch S, Akhtar M B, et al. Analyzing performance of ad hoc network mobility models in a peer-to-peer network application over mobile ad hoc network [C]// 2010 International Conference Electronics and Information Engineering (ICEIE). 2010; 2; 344-348