

一种基于时间期望的无线传感器网络路由协议^①

李海伟¹ 陈蜀宇² 卜长清¹ 汤羽³

(1.重庆大学 计算机学院 重庆 400044;2.重庆大学 软件学院 重庆 400044;

3.电子科技大学 计算机学院 四川 成都 610054)

摘要: 提出一种时间期望最短的路由协议,该协议基于树簇型体系结构,把数据从源节点到汇聚节点的时间期望作为关键因素来选择最佳路由,同时协议的运行流程图也一并给出。协议在 TinyOS-2.x 平台上实现,通过与 TinyOS 的 CTP 协议的对比实验表明新的协议具有一定可靠性并且在数据时延上表现出较大的优势。

关键词: 无线传感器网络;路由协议;簇树型网络;时间期望;时间驱动;事件驱动

A Wireless Sensor Networks Route Protocol Based on Time-Cost

LI Hai-Wei¹, CHEN Shu-Yu², PU Chang-Qing¹, TANG Yu³

(1. Computer Science Department, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Software Engineer Department, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. Computer Science Department, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054, China)

Abstract: This paper proposes a route algorithm that uses the time cost from the source node to the sink node as the key factor to construct the optimal route in the network with a topology of cluster tree. The sequence diagram of the algorithm has been showed to illustrate the process of the protocol in the paper. Also, the protocol has been coded through nesC on the TinyOS2.x platform. The simulation results demonstrate that the new protocol has some improvement on transmitting delay of data packets compared to the traditional one of the TinyOS.

Keywords: Wireless Sensor Network; route protocol; cluster tree; time cost; time driven; events driven

0 引言

无线传感器网络由具有感知能力、通信能力和简单信息处理能力的大量微型传感器节点组成。通常传感器工作的环境都比较恶劣,但是终端用户做出决策时又严重依赖于各节点所感知到的数据^[1]。因此,在传感器网络中能够快速可靠的把节点发出的数据送到汇聚节点成为网络协议设计的主要目标之一,构建一条到汇聚节点的时延最短的路由成了网络协议设计的核心。本文以构建源节点到汇聚节点的时间期望最小的路由为目标设计并实现了一种 WSN 路由协议。文中

协议以簇树型网络拓扑^[2]为基础构建无连接的到顶层汇聚节点时间期望最小的路由,并在 TinyOS-2.x^[3]平台上得到实现。

1 网络体系结构

通常传感器节点通过人工放置或者飞机舰船投掷等形式部署在被监测区域,各节点启动后以自组织的方式在监测区域构成网络。由于硬件资源和能源等因素的限制,节点的通信距离较短,只可以与有效通信半径范围内的节点交换信息。当节点想要和自己有效

① 基金项目:重庆市自然科学基金(2005BB2192)

收稿时间:2009-06-27

通信范围外的节点交换数据时首先要通过多次逐跳的方式和目标节点建立无线通信链路,然后才可以传送数据。这样,在节点数目较多、数据较密集的网络中,链路建立的过程增大了数据的传送时延同时降低了网络的吞吐量[4,5]。

根据无线传感器网络的数据汇聚特性,簇树型网络结构逐步取代了传统的点对点模式[6]。这种体系结构的思想是把整个监测区域的网络分为若干个小的子网络,每个子网络被称为一个簇。每个簇选择一个节点做为簇头(汇聚节点),当节点要进行数据交换时首先把数据交给它所属簇的簇头节点,然后由簇头节点负责把数据交给上一层簇头节点直至数据到达基站(BS)。这样,整个网络形成一个以簇为基本单位的树型拓扑(见图1)。

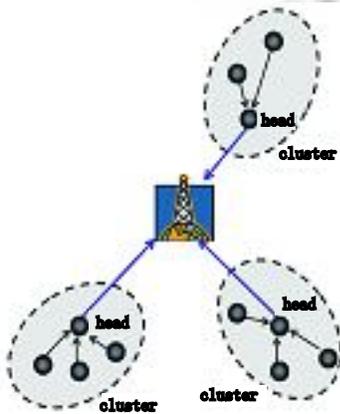


图1 簇树型网络体系结构

2 传感器节点网络协议栈

在面向传感器节点的操作系统后出现后,节点上运行的网络协议也根据其功能划分层次并形成了与传统计算机网络协议类似的网络协议栈。目前通用的传感器网络协议栈如图2所示。

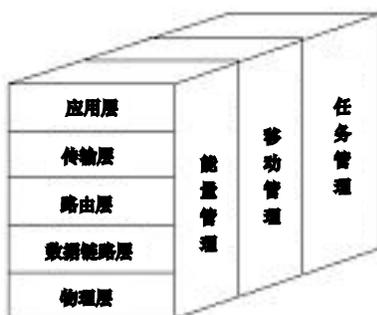


图2 网络协议栈

传感器网络协议栈由物理层、数据链路层、路由层、传输层、应用层、能量管理平台、移动管理平台和任务管理平台八个部分组成[7]。物理层负责数据传输介质的规范,包括通信频率,编码和同步等标准;数据链路层负责节点间的数据差错校验并对通信模块的能量消耗进行自适应控制;网络层负责路由发现、维护以及选择,使得传感器发出的数据能够及时准确的送到顶层汇聚节点;传输层主要是以TCP/UDP为基础改善数据传输的差错控制、线路管理和流量控制等;应用层负责和用户应用程序进行交互。按照设计者的初衷,剩余的三个方面应该均包含于上述五个层次种,但就目前而言,能量管理和移动性管理主要体现在网络层和数据链路层,而任务管理主要关注于应用层。

3 基于时间期望的路由选择算法的设计

3.1 算法基本思想

鉴于传感器网络是以数据为中心的特点,将节点感知到的数据及时地呈现给用户成为网络协议设计的首要目标。于是,找出一条到汇聚节点花费时间最少的路由成了算法设计的核心。该算法以源节点到汇聚节点的时间期望作为关键量度,从路由表中选择时间期望最小的路由进行数据转发,并可以根据节点当前缓存的数据量进行简单的拥塞控制[8]。

在簇树型网络结构中,顶层汇聚节点处于树根位置。每个节点都能根据它选择的簇头节点通过向上汇聚的方式找到一条到根节点的路径即数据包的路由[9]。每个节点在选择下一条节点时以数据包经过该节点到顶层汇聚节点的时间期望为主要因素从路由表中选择时间期望最小的邻节点。在节点的路由表中存放着其所有邻节点到顶层汇聚节点的时间期望。

节点选择下一条节点的算法可描述如下:

定义. 节点A经过其邻节点B到顶层汇聚节点S的时间期望为从A点到B点的时间期望与从B点到S点的时间期望的和,记为TC(A,B,S)。

令数据在A和B间的传送时间为D(A,B): Bp为B节点当前选择选择的下一条(簇头)节点,则有

$$TC(A,B,S) = \alpha D(A,B) + TC(B,B_p,S) \quad (1)$$

其中α是加权因子

定义. 节点A有n个邻居节点(B1,B2,B3,...,Bn)构

成的集合记为 N_A ，则节点 A 经过这些邻节点到顶层汇聚节点的 TC 值构成 A 节点可用的路由集合，记为 R_A 。

$$R_A = \{TC(A, B_i, S) | i \in N, N = \{1, 2, \dots, n\}\} \quad (2)$$

当节点有数据要发送时，可以通过公式-3 得到当前该节点到顶层汇聚节点的最小时间期望及其对应的邻节点，然后将该邻节点做为下一跳节点将数据转发出去。

$$\min(R_A) = TC(A, B_j, S), B_j \in N_A \quad (3)$$

3.2 路由环问题的解决

在网络传输过程中路由环是常会碰到问题。最简单的情况下当本地节点把一个数据包传给其中一个最佳下一条邻节点，而该邻节点碰巧要把本地节点当做自己的最佳下一条节点把数据又传了回来，这样便形成了路由环。为了避免这种情况，每个节点在发送路由包时都要报告自己选择的父节点。本地节点收到一个路由包后发现包中父节点是自己时，把通过该邻节点转发数据包的路由时延设为最大值以破除路由环。同时，在节点发送数据时会在数据包中包含该节点保存的到汇聚节点的时延，下一跳节点收到数据包后会拿自己当前到汇聚节点的时延和数据包中的域比较。如果大于则说明上一跳节点当前使用的路由信息已过期，这样节点会立即触发更新路由以期获得最新网络状况及路由并通知下层节点(上一跳节点所在的层)，然后把新的时间期望写入该数据包对应的域继续发送给下一跳。这样每传一跳都比较一次直至汇聚节点。

3.3 网络中路由的构建及维护过程

协议的运行可以分为两个阶段：路由初始化和路由维护。在第一阶段新加入网络的节点最初从其周围节点请求路由信息构建自己的路由表；在第二阶段节点根据自身获取的周围节点的活动状态及事件(定时器触发或者被通知路由过期)及时的对本地路由进行更新发布。

新加入网络的节点的路由表是空的，为了尽快构建通向汇聚节点的路由由节点在初始化后迅即以广播形式向邻节点发送请求路由信息路由包。所有邻节点在收到新节点的路由请求后会立即把自己最新路由信息回传给请求节点。这样新的节点根据收到的来自邻节点路由信息及对它周围相应的通信链路的评估可以构建出加入网络后的第一条到汇聚节点时间期望最小的

路由。其过程如图 3 所示：

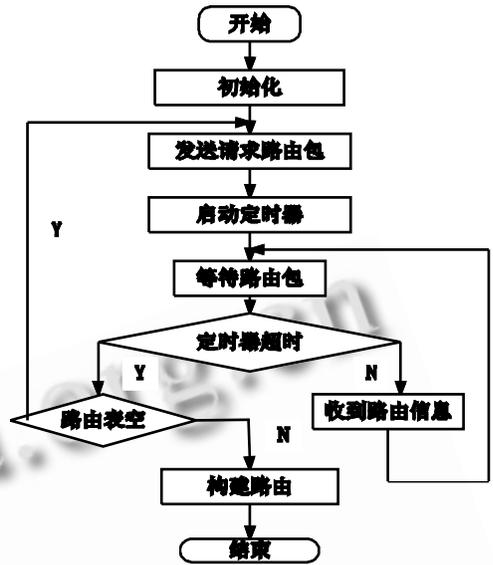


图 3 路由初始化阶段流程图

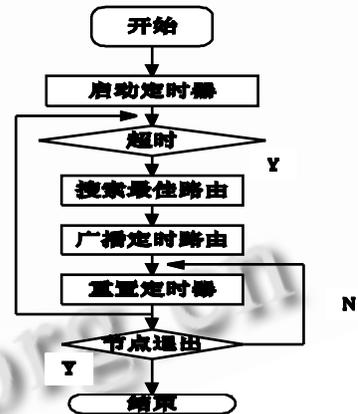


图 4 定时器驱动路由更新

在发现路由之后，为了能够及时响应网络中发生的随机事件，节点需要动态地及时修正自身的路由。在路由维护阶段，节点同时使用两种流程来更新自己当前使用的路由：(1)节点会定时的搜寻自己的路由表中时间期望最小的路由作为最佳选择并通知邻节点(图 4)；(2)节点收到来自新入网节点的路由请求包或者来自其父节点通知其使用的路由信息过期的路由包时重新在路由表搜索当前时耗最短的路由以更新自己所使用的路由，亦或节点监测到某个邻节点不再活跃时(链路失效)将路由表中以该节点为父节点的路由信息删除并更新发布自身路由信息(见图 5)。

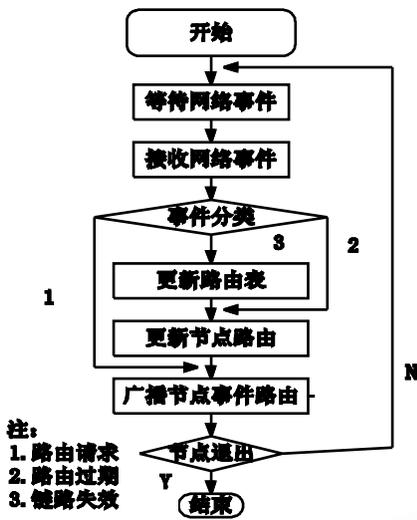


图5 网络事件处理

3.4 协议中的关键包结构

网络中各节点通过路由包交换路由信息。每个节点根据收到的周围邻节点发出的路由包(beacon)构造自己的路由表,在有数据包发送时从路由表中选取时间期望最小的路由,然后对应到相应的下一跳节点把数据包发送出去。在各节点互通过路由信息的过程种,路由包扮演着信使的角色。整个路由包根据其数据角色可以被划分为三部分: Header 和 Footer 部分主要包含一些在计算单跳通信链路(本地节点到发送该路由包的节点之间的链路)的时延时需要的参数, RouteCore 部分包含了发送节点构造的到汇聚节点最佳的路由信息。路由包结构如图6所示:

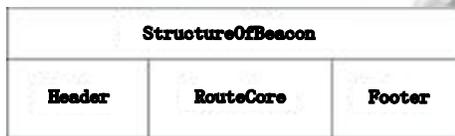


图6 路由包结构

在 RouteCore(图7)中, option 域表示本节点当前的状况例如是否缓存了过多的数据,是否当前没有到汇聚节点的路由需要其他节点立即把他们的路由返送给自己; Parent 域表示本节点所使用路由的下一条节点; Load 域告诉其他节点本地节点目前的数据缓存占有率; TIME-COST 域表示本节点发出的数据包到汇聚节点的时间期望。

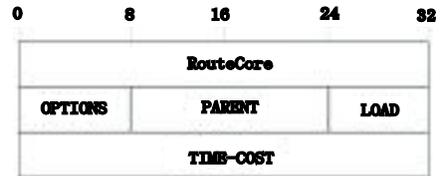


图7 路由核心

在 Header(图8)中, Sequence 表示这是该节点发送的第几个由定时器驱动的路由包; CurrentRate 域表示节点当前发送路由包的速率; Flag 域指出当前路由包是否是由于定时器超时而发送,如果不是前两个域无效, Footer 包含了发送节点根据收到来自邻节点的路由包而测量得到的发送节点到各邻节点的通信链路的时延(在协议中对单跳链路进行评估时以该链路的双向时延为依据)^[10]。

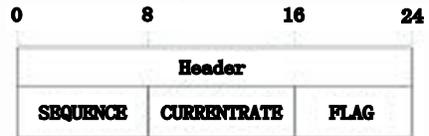


图8 路由包头

4 实验过程与结果分析

TinyOS 是 UC Berkeley 基于构件化模式开发的无线传感器网络操作系统,可以在 Linux 和 Windows 两种平台上配置。该系统使用事件驱动机制,具有能耗低、多任务和响应速度快等特点,很好的适应了传感器几近苛刻的资源限制^[7]。同时, TinyOS 平台的应用开发语言(nesC)是一种类 C 语言,便于开发人员迅速掌握,为应用编程带来了方便。

协议基于 TinyOS-2.x 平台,使用 nesC 语言实现,可以在 mica、mica2 及 intelmote2 等硬件平台上运行为了对协议进行测试首先编写如下应用测试程序:在网络中选定一个节点做为汇聚节点,其上运行的程序负责接收其他节点发送来的数据并统计数据包的时延,其他节点上的程序随机的发送数据包,然后采用 TinyOS 提供的仿真工具 TOSSIM^[11]。仿真模拟 micaz 硬件平台,分别用包含 40 节点, 60 节点, 80 节点, 100 节点的随机网络对 tinyOS 自带的 CTP(CollectionTreeProctol)^[12]协议和新的 ATTC (AverageTripTimeCost)协议进行数据传送对比实验。

在实验中,我们选用数据时延和可靠性两个指标对两种协议进行比较。数据时延定义为从源节点到顶层汇聚节点的时间;可靠性定义为汇聚节点正确收到

的数据包总数和源节点发出的数据包总数的比值。实验结果如图9、10所示:

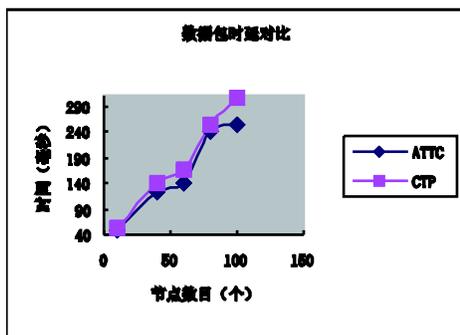


图9 数据包时延对比

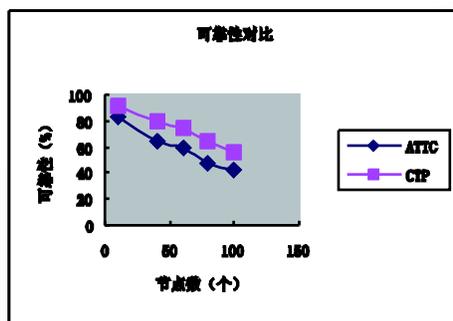


图10 可靠性对比

从上面的实验结果可以看出:随着网络中传感器数目的增加,数据包的传输时延也相应地增加。这是因为随着节点数量的增加,整个网络监测的物理区域也在扩大,相应的传感器发出的数据到顶层汇聚节点所经过的最少跳数也增加了,这一趋势在两种协议中是表现一致的,但是随着网络的规模和数据密度增加新协议在时延方面明显的优于原CTP协议;同时随着节点数的增加网络中数据包随之线性增长,在节点缓存有限的情况下数据包被丢弃的概率也在增大,从而造成了数据可靠性的逐步降低,这一趋势在新旧协议中也是相同的而且随着数据量的增加两者的可靠性趋向于相同。

参考文献

- 1 方旭明,等.下一代无线因特网技术:无线 Mesh 网络.北京:人民邮电出版社,2006.1-30.
- 2 基于 Zigbee 技术的无线传感器网络协议的设计.微型计算机信息(测控自动化),2008,24(7-1):164-165.
- 3 王斌.无线传感器网络操作系统 TinyOS 的研究.计算机与现代化,2008,1:67-70.
- 4 Al-Karaki JN, Kamal AE. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey. IEEE Wireless Communications, 2004,11:6-28.
- 5 Akyildiz IanF, Su WL, Sankarasubramani am Y, Cayirci E. A Survey on Sensor Networks. IEEE Communications Magazine, 2002,8:102-114.
- 6 石军锋,钟先信,陈帅,等.无线传感器网络结构及特点分析.重庆大学学报(自然科学版),2005,28(2):17-20.
- 7 喜源.基于TinyOS无线传感器网络体系结构[2009-4-5].中国科技论文在线,2005.
- 8 钱开国,桑楠,马宏.基于TinyOS-2.x的无线传感器网络研究平台设计和实现.福建电脑,2009,2:7-8.
- 9 Fonseca R, Gnawali O, Jamieson K, Levis P. Collection[2009-1-20]. http://tinysos.cvs.sourceforge.net/*checkout*/tinysos/tinysos-2.x/doc/html/tep119.html
- 10 Gnawali O. The Link Estimation Exchange Protocol (LEEP)[2009-1-10]. http://tinysos.cvs.sourceforge.net/*checkout*/tinysos/tinysos-2.x/doc/html/tep124.html
- 11 Levis P, Lee N, Welsh W, Culler D. TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications. Proc. of 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2003.126-137.
- 12 Fonseca R, Gnawali O, Jamieson K, Kim S, Levis P, Woo A. TheCollectionTreeProtocol(CTP)[2009-3-2]. http://tinysos.cvs.sourceforge.net/*checkout*/tinysos/tinysos-2.x/doc/html/tep123.html