

文章编号:1001-9081(2008)07-1844-03

分级无线传感器网络路由协议设计研究

王金林

(天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

(pqxx@sina.com)

摘要:针对多跳步无线传感器网络(WSN)设计了分级无线传感器网络路由协议框架。协议中级别的设置有效地保证了路径的长度,并且采用最大可用能量优先的决策策略,因此提高了能源的使用效率,网络的使用寿命也得以延长。通过和现有其他协议的仿真比较,该协议的有效性得到了验证。

关键词:无线传感器网络;路由协议;节点;能量

中图分类号: TP393.08 **文献标志码:** A

Level-based routing protocol design for multi-hop wireless sensor networks

WANG Jin-lin

(School of Electronic and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The Level-based routing protocol was proposed for multi-hop wireless sensor networks. The level structure of this protocol guaranteed the length of the route, and the application of achievable Power Available strategy improved the energy efficiency, and the life-span of the net was also extended. Through being compared with other protocols, its validity was proved.

Key words: Wireless Sensor Networks(WSN); routing protocol; node; energy

0 引言

无线传感器网络(WSN)是由一些在空间上分散的自组织设备组成的,这些设备使用传感器来协同监控不同区域的物理或环境状况。典型的传感器节点是由一些拥有有限计算能力和有限存储容量的处理单元、传感器、通信设备、电源组成的,被大量的部署到各种各样的环境中,并使用 Ad-hoc 进行通信。分散的传感器节点通信网络中一个或多个节点将充当数据汇聚节点(sink),网络中的其他节点将采样数据发送给 sink,形成多到一的数据流,由 sink 负责数据的汇总,并传送到有限网络或上位机。

一方面由于无线传感器网络的节点采用微型电池供电,且工作环境恶劣,一般很难进行充电或替代,系统能量资源有限。另一方面,与传统的网络相比,无线传感器网络的计算资源、带宽都受到了极大的制约。因此 WSN 的路由算法和协议需要保证:1)寿命最大化;2)鲁棒性和容错能力;3)自组织和自配置;4)快速收敛。

1 相关研究进展

从具体应用的角度出发,根据不同应用对传感器网络各种特性的敏感度不同,可以将路由协议分为多种类型,目前应该用较多的是能量感知路由协议、基于查询的路由协议等^[1]。目前针对这几种路由协议进行的仿真评估和优化大多是关于延时、抖动、负载等方面的相对性能,基于能量约束的改进设计相对较少^[2]。文献[3]提出的一些能量感知的路由协议,根据不同的算法,将节点剩余能量作为依据来选取合适的路径,从而延长网络寿命。但该能量路由协议算法都需要节点知道全局的节点信息,而 WSN 节点资源受限,特别是

在动态的条件下,节点只可能知道局部相邻节点状况,所以上述路由方法的应用受到限制^[4-5]。

本文结合能量路由协议,提出“级别”(Level)的概念,设计了一种简单、实用的能源优先路由协议框架。该协议在使用较小跳步数的前提下,选取最大可用能量(PA)最大的节点作为下一步跳,从而优化能源使用的意义上进行路由。

2 协议框架描述

2.1 应用环境

本文提出的协议框架主要是为通过网关传感器节点(Gateway Sensor Node, GSN)与有线网络或高速分布式网络相连的无线传感器网络设计的,GSN 可以视为 WSN 中的数据汇聚节点,进行动态的路由。该设计在一定速度的移动下仍能良好地工作。

2.2 数据结构

Hello 消息主要有两个功能,建立上行路由路径树的层结构和路由维护。Hello 消息将被周期性的广播,其格式设计如图 1 所示。图 1 中:Type(3 bit)是消息类型,为 000;G(1 bit)是 GSN 标志位,GSN 为 1;Level(i) (4 bit)是传输节点级别,最大 15;Sequence(4 bit)是由节点产生的数据包序列号,帮助接收节点判断最近是否从同一节点收到过该数据包的副本;ID(32 bit)是节点标识,发送 Hello 消息的节点 ID,最多支持 4 095 个节点,该字段设计为 32 bit 主要是考虑到可以使用节点的 IP 作为节点 ID;Parent_ID(32 bit)指明本地节点的父节点 ID;Battery_life(12 bit)标示节点所剩电池能量,单位 mA,最多 4 095 mA。

网络中每个节点都会维护一张相邻状态表(Neighbor

收稿日期:2008-01-22;修回日期:2008-03-26。 基金项目:天津市科技支撑计划项目(08ZCKFGX01300)。

作者简介:王金林(1963-),男,黑龙江伊春人,博士研究生,主要研究方向:通信、网络安全、信息系统。

States Table, NST),其结构如表 1 所示。

NST 只需要记录两个层的节点: $i-1$ 层(上行方向,接近 GSN)和 $i+1$ 层(下行方向,背离 GSN);Sequence 记录了最近从相应相邻节点接收到的 Hello 消息序列号;如果本地节点的 ID 被某个 $i+1$ 层的节点作为 Parent_ID,则 Child_flag 将被置为 1; $i-1$ 层中的父节点所对应的 Parent_flag 将被置为 1。表 1 中, $ID_2(i+1)$ 和 $ID_j(i+1)$ 为子节点,而 $ID_2(i-1)$ 为父节点。 $i-1$ 层中有且仅有一个节点标记为父节点。这样,沿节点指向父节点的方向一直向上、直至 GSN,就建立起了一个棵以 GSN 为根的单一路径树。

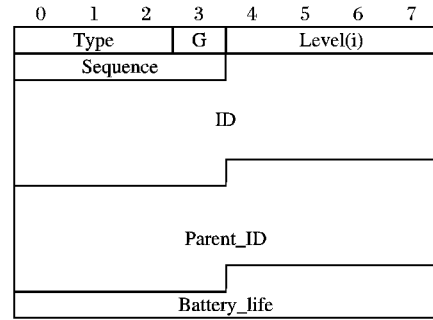


图 1 消息格式图

表 1 相邻状态表

Level	Neighbor nodes	Sequence	Child/Parent flag	Battery_life/(mA · h)	Timer/s
$i-1$	$ID_1(i-1)$	21	0	1000	300
	$ID_2(i-1)$	20	1	430	200

$i+1$	$ID_1(i+1)$	22	0	1050	139

节点之间传递的数据格式如图 2 所示。

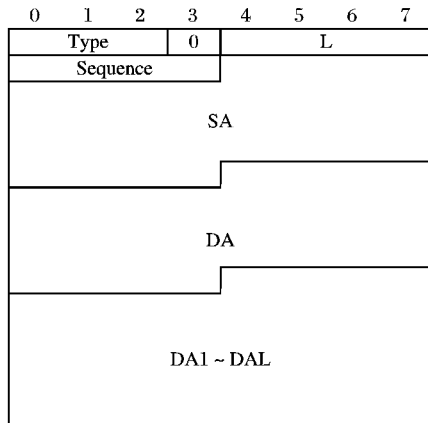


图 2 节点之间传递的数据格式

Type(3 bit)为 011;L(4 bit)是长度域,包中所有数据字段所占字节数量的总和;Sequence(4 bit)是由节点产生的数据包序列号,帮助接收节点判断最近是否从同一节点收到过该数据包的副本;SA(32 bit)是源地址域,最初生成该数据包的节点的 ID;DA(32 bit)是目的地址,传输节点的父节点 ID;DA1 ~ DAL(各 8 bit)是数据字段,传感器输入采样。

2.3 算法框架

2.3.1 上行路由路径树的建立

上行路由路径树的建立是通过各个节点周期性广播和接收 Hello 消息,并根据接收到的 Hello 消息维护相邻状态表(NST)来进行的。

处理 Hello 消息,选择父节点过程:

输入:接收到的 Hello 消息

输出:本地节点的级别 i ;

发送节点对应的 parent_flag

过程:

```

if (ID != 本地节点)
{
    if (GSN_flag == 1)
    {
        i = 1;
        ID 对应的 parent_flag 置位;
        return;
    }
}
    
```

if (NST 中有 ID 的记录且 Seq 相同)

```

{
    return;
}
if (Level < i - 1)
{
    i = Level - 1;
    ID 对应的 parent_flag 置位;
}
else if (Level == i - 1 且
        battery_life >= 当前父节点)
{
    ID 对应的 parent_flag 置位;
}
}
    
```

初始时,本地节点的 i (层)和 Parent_ID 为全 1,即 15 和 4095(但 GSN 中都为 0);除 GSN 外,其他节点的 G 为 0(GSN 为 1)。算法运行当中,本地节点根据接收到的相邻节点的层信息,按照上述规则,不断更新自己的层 i 。

Parent_ID 是本地节点父层节点的 ID,父层节点拥有最大化的电池能量,Parent_ID 用于本地节点向 GSN 转发数据。如果最近接收到的 Hello 消息报告说,发现一个比当前父层更低的层,则新的 ID 将作为新的父节点 ID 被缓存。相反,如果报告的层与当前父层相同,则要分析 Hello 消息,以选择一个更好的节点作为父节点,并将其缓存。

父节点的选取是根据可用电池能量进行的,一个简单的选择标准是选择剩余电池能量最多的节点。当新近 Hello 消息报告的电池能量与当前父节点的相同时,考虑到原先的父节点在当时的 Hello 消息后又消耗了一定的电量,故选择新近报告的节点作为父节点。

处理 Hello 消息,确定子节点过程:

输入:接收到的 Hello 消息

输出:发送节点对应的 child_flag

过程:

```

if (ID != 本地节点 且 parent_id == 本地节点)
{
    更新 ID 所对应的 child_flag
}
    
```

NST 中的条目在收到相邻节点的 Hello 消息后要更新,在 Timer 字段变为 0 时要自动删除。Timer 字段的超时可能

是由于相邻节点移出了本地节点的通信范围或者电池耗尽。表项的 Timer 超时时间应该至少是 Hello 消息广播时间的 3 ~ 5 倍,以免多个 Hello 消息丢失。

如果父节点移出了本地节点的通信范围或者电池耗尽, Parent_flag 将会在父节点超时后的下一个 Hello 消息更新为另一个可用的父节点(使本地节点的级别发生变化或者原先父层中电池能量最大的节点)。

2.3.2 数据传输

传输节点,包括流向 GSN(起中继作用)的上行流中的原发节点和中介节点,都需要处理数据并作出转发决策。

从实现的观点出发,可以有两种不同的选择:

1) 传输节点在所有转发的数据包中包含的是中间目的节点的地址,该地址由已经建立好的上行路径树决定。每节点收到数据包后,将数据包中的中间目的节点的 ID 和自己的 ID 进行比较,从而决定是否读取并处理该数据包。这种方式要求传输节点在转发的数据包中包含中间目的地址,从而增大了数据包的信息头,但同时也简化了接收该数据包的中间节点的接收决策过程。中间节点使用 DA 字段来保存中间目的节点的 ID,即传输节点的父节点 ID。

2) 传输节点转发给相邻节点的数据包中不包含任何中间目的节点的地址信息。每个收到数据包的相邻节点通过发送节点的 ID 来决定是否接收并处理该数据包。只有相邻节点的某条 Child_ID 记录与发送节点的 ID 相同时,该相邻节点才接收并向 GSN 传递该数据包。其余的节点将把该数据包丢弃。这样就不需要传输节点包含中间目的节点地址,也因此节省了相应的处理时间,然而接收节点则需要检查记录的 Child_ID 来决定是否应该接收数据包。显然,采用该选项时,数据包中是没有 DA 字段的。

2.4 性能分析与仿真

本节选用 UC Berkley 大学研发的事件驱动的和面向对象的网络仿真工具 NS 对提出的分级无线传感器路由协议(Level-Based Routing, LBR)性能进行比较与分析。其中 NS 的无线模块,最初是由 CMU 的 Monarch 工作组引入的。该模块以移动节点为核心,主要由以下几个网络构件组成,包括链路层、链接到 LL 上的 ARP 模块、接 VI 队列、MAC 层、网络接口、无线信道、天线。

除了 LBR,还选择非聚类算法的典型代表直接发送路由(Direct Communication Protocol, DCP)算法、静态集群路由(Static Clustering, SC)算法、动态成簇路由协议(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH)作为比较对象。

直接路由算法中每个传感器节点都是独立探测并发送数据,网络没有簇或小区结构,所有节点直接向 GSN 发送数据,这种算法对小规模无线传感器网络具有很好的效果。

静态集群路由算法和 LEACH 都是将网络分成若干簇,并按照一定的簇头选举方式选举出簇头节点,非簇头节点只需要将数据传送给本簇的簇头,由簇头节点负责与 GSN 的数据通信。它们的不同之处在于,静态集群路由算法中簇头一旦选出,它在整个网络生存周期内一直作为簇头节点存在,其他节点没有机会再成为簇头节点;而 LEACH 算法采用一种动态的簇头选举机制,每个节点都有可能担当簇头节点,数据传输经过一段时间后,网络内所有节点重新进入簇头选择、簇形成阶段,采用数值判决门限的方法实现完成新簇头的选择并继续数据传输。

仿真中在 500 m × 500 m 的范围内均匀布置 100 个节点,每个传感器节点具有 0.5 J 的初始能量。起始状态,在 SC 和

LEACH 中网络划分为 5 个簇,每个簇内有一个簇头节点和 19 个非簇头节点;在 LBR 中随机选择 5 个节点作为路径树(以 GSN 为根,GSN 为 0 层)的第一层节点。

将“网络寿命”作为衡量各种路由协议在能量消耗方面的指标。每个节点都有 0.5 J 的初始化能量,网络初始化后节点定期发送数据,当一个节点能量耗尽就退出网络,仿真运行直到所有节点全部死亡。图 3 中纵坐标是网络中生存节点的数目,横坐标是完成数据传输的轮数。

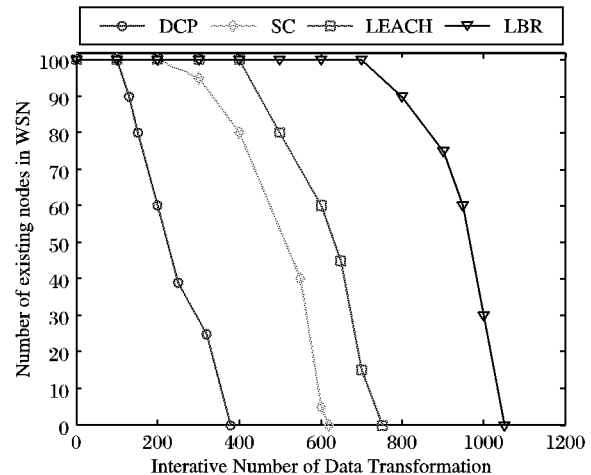


图 3 仿真比较结果

从图 3 可以看出:DCP 协议下节点全部死亡的速度最快, SC 和 LEACH 中网络寿命较长,而本文中的 LBR 获得最长的网络寿命。LBR 对节点采用了分级设置,并且优先将数据包传送给能量大的节点,可以从整体上提高网络能源的使用率得以提升,延长网络使用寿命。

3 结语

本文提出了一种基于级别的路由协议的算法框架。协议中级别的设置有效地保证了路径的长度,加以 PA 优先的决策策略,使得能源使用效率提高、网络的使用寿命得以延长。节点只需掌握节点通信范围内部分相邻节点的局部信息,算法、数据结构相对简单,收敛速度快,节省了有限的计算资源和存储资源。由于对网络的结构、分布没有限制,节点间依赖关系也极小,算法的动态性、鲁棒性和自组织能力都很强,当网络规模需要大幅度扩展时,也仅需要少量增大相应数据结构的长度即可,具有良好的扩展性。

参考文献:

- [1] SHAH R C, RABAEY J M. Energy aware routing for low energy Ad Hoc sensor networks[C]// Proceeding IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Washington, DC: IEEE Press, 2002, 1: 17 - 21.
- [2] LEE S J, HSU J, HAYASHIDA R, *et al.* Selecting a routing strategy for your Ad Hoc networks[J]. Computer Communications, 2003, 26(7): 723 - 733.
- [3] CHEN HUI - FANG, MINENO H, MIZUNO T. An energy - aware routing scheme with node relay willingness in wireless sensor networks [C]// International Conference on Innovative Computing Information and Control. Washington, DC: IEEE Press, 2006: 397 - 400.
- [4] AL - KARAKI J N, KAMAL A E. Routing techniques in wireless sensor networks: A survey[J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(6): 6 - 28.
- [5] AKKAYA K, YOUNIS M. A survey on routing protocols for wireless sensor networks[J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3: 325 - 349.