

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.04.023

基于簇中建链路由方法的无线传感器网络数据传输模型

孙亭¹, 孙璐²

(1. 中国电子科技集团公司 第二十八研究所, 江苏 南京 210007;

2. 中国电子科技集团公司 第五十五研究所, 江苏 南京 210016)

摘要: 在对常见网络路由缺点进行介绍的基础上, 结合被动式网络的工作特点, 提出了一种新的簇中建链路由方法。在簇中节点被唤醒后, 簇首将这些节点组链, 并根据各节点剩余能量的多少选择链首, 链首作为簇首在簇中的代理节点, 收集并融合数据后发送给簇首。实验表明, 该方法降低了节点的传输能耗, 消除了数据冲突并使得节点间的能耗更均衡, 延长了网络寿命。

关键词: 无线传感器网络; 被动式网络; 簇; 链

中图分类号: TP212; TP393.02 **文献标识码:** A

Linking in Cluster Data Transmission Mode of Wireless Sensor Networks

SUN Ting¹, SUN Lu²

(1. The 28th Research Institute, China Electronic technology Corporation Group, Nanjing 210007, China;

2. The 55th Research Institute, China Electronic technology Corporation Group, Nanjing 210016, China)

Abstract: On the basis of the shortage of general network path is introduced, combine the working characteristics of passive network, put forward a new routing mode that link is built in a cluster. After sensor nodes in a cluster are waken up, cluster-head links them together to be a Link. Link-head is selected by there leaving energy. The head of link collects all the data, fuses and transfers them to cluster-head. The experimentation shows that the transmission mode can eliminate the data collision and decrease the energy consumption of sensor nodes. Moreover, the new mode averages the sensor nodes' energy depletion, which can prolong the lifetime of network.

Keywords: WSNs (Wireless Sensor Networks); Passive network; Cluster; Link

0 引言

在某些科学监测中, 工作者往往只是需要取得某个环境在某个条件下的特征数据, 并不需要网络不停歇的一直保持工作状态, 这时, 被动式网络最为合适。因此, 被动式网络是无线传感器网络应用比较广泛的一种网络工作模式^[1]。

目前, 研究者在采用 LEACH 方法设计被动网络环境的路由时, 簇内采用的是单跳传输机制。簇内节点被唤醒后直接与簇首进行通信, 反应快捷。然而, 由于在同一个簇内, 同一功能类型的传感器节点的监测对象是相同或相似的, 一旦被监测的条件发生改变, 很有可能同一簇内的所有同一类型传感器节点都被唤醒或大部分被唤醒。这时, 就要花费较多能量。作为 LEACH 协议的改进版本, LEACH-C^[2]协议采用集中分簇的方法, 产生一系列在数量和大小上可控制的更优的簇组织单元, 在应用于被动环境时, 分簇的区域比较稳定, 取得了相对较好的性能效果。而子簇路由模式^[3]

(Sub-Cluster) 通过在簇内建立子簇, 让子簇首担任簇首代理节点, 改进了单纯聚簇路由协议的网络性能。领域内的其它路由协议, 比如 HEED^[4]、EECS^[5]、EEUC^[6]等, 在主动式网络环境中都有很好的实用性能, 但是到被动环境时, 这些协议都显的过于复杂。故提出一种新的路由算法—簇中建链算法 (Link Routing Algorithm in Cluster, LRAC)。

1 网络模型

考虑一个由 N 个随机部署的传感器节点形成的网络, 其应用场景为不定期的数据收集, 用 S_i 表示第 i 个节点, 相应的节点集合为 $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_N\}$, $|S| = N$ 。假设:

- 数据汇聚点位于一个圆形观测区域 A 的外面。传感器节点和汇聚点 $Sink$ 在部署后不再发生变化。
- 根据接收者的距离远近, 节点可以自由调整其发射功率以节约能量。
- 簇的重新建立频率不高;
- 簇内除了簇首以外的节点都是平等的;
- 簇首知道簇内每个节点的标识 ID 和位置;

收稿日期: 2009-10-03; 修回日期: 2009-12-18

基金项目: 国家发改委支持中国下一代网络示范工程项目 (CNGI-04-17-2A)

作者简介: 孙亭 (1980-), 男, 山东人, 工程师, 博士, 从事计算机网络、无线传感器网络研究。

- 簇内除了簇首以外的节点都可以和簇首直接通信。

因为网络工作的特点是被动模式，网络中的节点并不是一直处于工作状态，这种情况下不需要像主动网络工作模式下那样频繁的聚簇换簇。因此，节点处于通信中的从属地位。

2 簇中建链的路由算法

路由工作流程可简述为：初始网络搭建时，所有节点采用类似 LEACH 的随机算法进行聚簇，此处不再累述；在分簇过程完成后，所有节点处于 Sleep 状态。当监测条件满足时，处于有效监测区域内的 Sleep 状态的节点将会被触发，簇首也随之开始工作，簇内节点采用链的方式进行通信，其详细过程如下文所述。簇首收集完数据后，根据其与汇聚节点距离的远近进行单跳或多跳通信。整个路由协议的核心是簇内建链的通信结构。

网络中的每个节点 S_i 都有一个统一的标识， $ID(i)$ ；节点 S_i 所属的簇的簇首标识为 h_i ；节点 S_i 所存有的电源能量为 $CRP(i)$ ，其位置为 $L(i)$ 。在监测事件发生以后，簇首会检测所有被唤醒成员节点的信息，然后选择剩余能量最高的节点作为其代理节点。同时，簇首会在簇内广播所有节点的位置信息，每个节点在接收到这些信息后，会选择距离自己位置最近的节点连接成链。当簇首对成员节点数据收集时，有用信息将从链结构的两端向代理节点移动。因为这些节点大多部署在相邻的监测区域，所以它们所收集到的信息有很大的相似性，为了减少数据的冗余，链中节点传送数据的过程中，中间节点会不断将从其它节点接收到的数据与自身数据融合。

在簇内，相对于其它节点来说，代理节点要消耗更多的能量，所以在不同的工作周期，代理节点将根据节点的剩余能量的多少，由不同的节点轮流担任。这些信息保存在 $CRP(i)$ 中。即当一个工作周期完成后，簇内的链结构将有一个新的链首节点。这种方法会使节点的能耗更加均衡。

3 簇中建链工作原理

3.1 初始化过程

在网络搭建成功，簇生成后，簇首与传感器源节点之间的工作状态需要进行有效的初始化。簇内有多个节点，以节点 S_i 为例。在初始化通信过程中，簇首主动向簇内节点广播连接信令 (ATTACH)，在传感器节点 S_i 成功地接收和验证一个数据帧和

模型中强调簇的重新建立频率不是很高。

节点状态集 status:

Sleep: 节点处于休眠状态，只保持低功率监听信道；**Master:** 节点处于通信中的主控地位；**Slave:** MAC 命令帧后，向簇首返回确认帧 (ACK_i)，随后簇首与传感器节点进行主 (Master) 从 (Slave) 角色转换，簇首处于从模式 (Slave) 工作状态，等候响应连接请求信令；此时传感器节点工作在主模式 (Master) 下，等待着有需求时唤醒发起连接请求。在初始化结束后，传感器节点工作于 Sleep 模式，并采用低功率监测信道，拒绝任何的连接请求。这种设计大大降低了传感器节点的功耗，并且传感器节点只是在有需求时唤醒并主动与簇首建立连接，从而有效地控制了其它网络中物理射频以及其它传感器节点和簇首的非法连接请求，保证了簇首节点和传感器节点间通信的安全可靠。形式化描述如下：

簇首 h_i :

```
While(initializing)
{ Broadcast ATTACH;
  If( $ACK_i == \text{True}$ ) // 传感器节点  $S_i$  返回确认帧
    Set  $S_i.status$  is Sleep;
  If( all ACK is True)
  { Set  $h_i.Mode$  is Slave; // 簇首处于从工作模式
    Set  $h_i.status$  is Sleep;
    Waiting the link request;
  } }
```

传感器节点 S_i :

```
While(initializing)
{ If( Receive ATTACH)
  If( $ATTACH.MAC == \text{True}$ ) // 验证 MAC 命令帧
  {  $ACK_i = \text{True}$ ;
    Send  $ACK_i$  to  $h_i$ ; }
  Then
  { Set  $S_i.status$  is Sleep;
    Set  $S_i.Mode$  is Master; // 节点处于主工作模式
  }
  Monitor the channel; }
```

3.2 信息处理过程

信息处理过程是在传感器节点的硬件检测电路检测到其所在的环境发生变化时，由传感器节点对数据简单处理后，向簇首主动发起连接请求 (LinkReq)，簇首在整理所有请求信息后，选取剩余能量最高的一个节点作为链首领 Header，即其在簇内的代理节点，再把各节点位置信息和链首信息广播给簇内节点，节点们自动跟距离自己最近的邻

居连接建链, 链首领向链的两端发出收集数据请求 (DataReq), 与 PEGASIS 协议类似, 通过采用令牌控制链两端的数据沿链传送到链首领本身, 最终由链首领节点将结果数据传送给簇首。在工程中测试结论已表明, 无线传感器网络的传感器节点处于 Sleep 状态时只需要周期性地监听其无线信道, 判断是否有需要自己处理的数据消息, 功耗的数学期望值可低至 30 μ A。形式化描述如下:

```
簇首  $h_i$ :
While(Monitor the channel)
{ If(Receive all LinkReq)      // 收到唤醒节点的请求
  { Found Link;                // 建立链结构Link
    Broadcast the message of Link;
  }
  Receive data from Link;
  Disband Link; }
传感器节点  $S_i$ :
While(Monitor the channel)
{ If(Receive message from environment) // 获得监测数据
  { Working;
    Send LinkReq to  $h_i$ ;      // 向簇首发出连接请求
    Receive message of Link from  $h_i$ ; //从簇首收到链信息
    Do{
      Fuse data;
      Send data to neighbor;
    }While(Receive new data)
    Finish the link;
    Set  $S_i.status$  is Sleep; }}
```

4 实验与结果分析

4.1 实验设置

为了验证提出的路由算法的性能, 实验过程将新路由算法 LRAC 与在被动网络环境下应用最多的 LEACH、LEACH-C 及子簇算法 (Sub-Cluster) 等 3 种路由算法进行比较。为便于分析, 表 1 对采用了这 4 种算法的协议的特征进行了概括。

表 1 协议特征概括

| 协议 | 簇内通信方式 | 选择下一跳的方式 |
|-------------|--------|--------------|
| LEACH | 单跳 | 无 |
| LEACH-C | 单跳 | 无 |
| Sub-Cluster | 多跳 | 自身所属的子簇首 |
| LRAC | 多跳 | 链上靠近链首方向的临节点 |

实验中所用的参数如表 2。

4.2 实验结果分析

被动式网络工作环境的特点是监测事件能随机

产生, 又会在一段时间后消失, 事件产生的时间和区域有可能不固定。故在实验的过程中作者模拟产生一个随机事件信息源, 信息源的产生区域不固定, 产生后每次持续 2 min, 间隔一段时间后又再次出现, 以此来测试采用新路由的网络的性能。在同一环境下, 分别实现 4 种传输协议, 收集多次实验中的实验数据, 将结果进行比较。首先, 分析新路由算法对网络中节点的存活状态的影响。如图 1。

表 2 实验参数

| 参数 | 取值 |
|-----------------|--------------------------------|
| 网络覆盖区域中心点 | (300,300) m |
| 网络覆盖区域半径 | 300 m |
| 汇聚节点位置 | (0,650) m |
| N | 500 |
| 传感器节点初始能量 | 0.5 J |
| α | 50 nJ/bit |
| ϵ_{fs} | 100 pJ/(bit*m ²) |
| ϵ_{mp} | 0.013 pJ/(bit*m ⁴) |
| d_0 | 87 m |
| E_{DF} | 5 nJ/(bit*signal) |
| 数据包大小 | 4 000 bit |

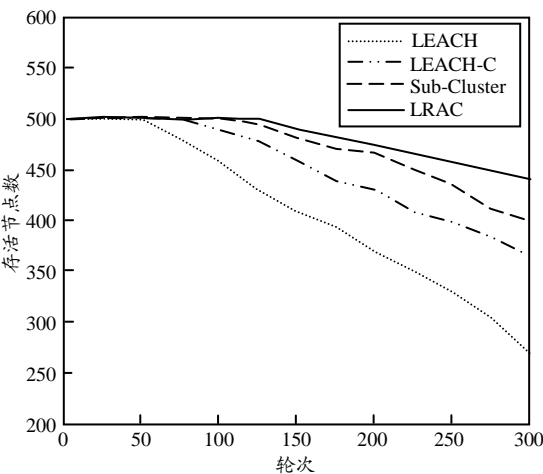


图 1 存活节点与工作时间关系图

由图 1 可以看出, 在网络工作开始的最初, 4 种方法中节点均工作正常, 但是, 随着网络工作时间的延长, 新方法比其它 3 种方法有更明显的优势。因为在 LEACH 协议和 LEACH-C 中, 簇首节点不仅仅要将从其它节点传送来的数据转发到汇聚节点, 在这之前, 它还要负责将这些数据进行融合操作, 这些工作会让它消耗大量的能量; 另外, 在这 2 种协议中, 簇内唤醒节点都是直接将数据传给簇首节点的, 节点能耗高。在子簇路由传输模式中, 子簇的建立从一定程度上解决了这些问题, 但簇首仍然需要融合从子簇首传输来的数据信息。在 LRAC 中, 这些工作都被分解到了簇内的成员节点中, 数据到达簇首的时候已经被融合。通过这种方

法, 簇内的节点能耗彼此间更加均衡。随着工作时间的延长, 剩余节点的数量也更多。从网络能量消耗程度上看, 也验证了同样的观点, 如图 2。

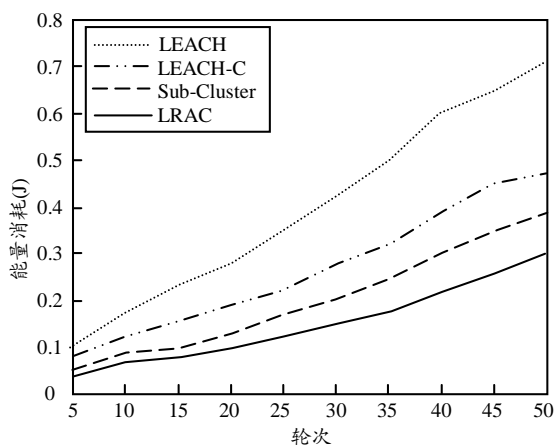


图 2 能耗与工作时间关系图

从前面的分析中可见, 4 种协议中 LEACH 协议最简单, 而子簇协议和 LRAC 则需要较多的计算量, 似乎应消耗更多的能量。对此, 做了另外一组实验, 来检验随着网络区域的变化, 网络能耗的变化情况。新实验中, 设定参与网络工作的节点数为 300; 随机事件源为 3 个, 产生的区域随机; 网络半径从小到大逐渐变化; 取每种区域环境下, 所有节点在 10 轮时间内消耗的能量进行比较, 结果如图 3。

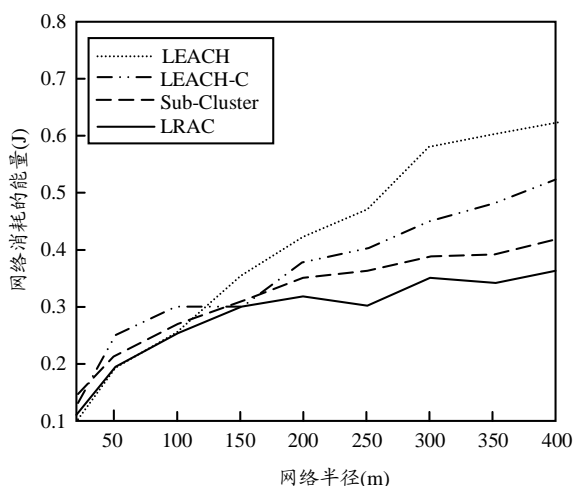


图 3 能耗与网络区域关系图

由图 3 可知, 当网络分布范围较小, 节点密度较高的时候, 新算法与其它算法相比并没有明显的优势, 甚至还有差距, 这是因为在簇内, 新算法的建链工作消耗了相对较多的计算能量。但对无线传输来说, 传输数据所消耗的能量要远远高于计算数据所消耗的能量。正如文献[7]中所提到的, 传输 1 比特信息所消耗的能量足以支持进行 3 000 次二进

制运算。随着网络分布范围的扩大, 节点间的传输距离也随之增大。在 LEACH 和 LEACH-C 中, 簇内成员节点不得不将数据传送给相对距离越来越远的簇首。而子簇协议中的子簇组织在一定程度上缓解了这种能耗。在 LRAC 中, 链上的节点只需要将数据传送给距离自己最近的节点, 所以, 节点所需的传输能耗也就大大降低, 从而延长了网络寿命。

5 结论

实验表明, 该模型降低了节点的传输能耗, 消除了数据冲突并使得节点间的能耗更均衡, 延长了网络寿命。目前, 无线传感器网络中的节点定位方法很多, 比如物理定位与符号定位、绝对定位与相对定位、基于测距的定位、三角定位等等^[8-9], 这些方法各有优势, 也各有不足。由于文中的方法采用的能量高效路由协议未能对定位方法进行参数优化取值并详细分析, 还需作进一步的改进。

参考文献:

- [1] 刘荣伍, 蒋挺, 周正. 利用 GSM 数据传输的 Zigbee 无线传感器网络[J/OL]. 中国科技论文在线, <http://www.paper.edu.cn>, 2005.
- [2] Heinzelman W., Chandrakan A., Balakrishnan H.. An application-specific protocol architecture for wireless micro-sensor networks[C]. IEEE Transaction on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [3] Kyung-Won Nam, Jun Hwang, Cheo-Min Park, Young-Chan Kim. Energy-efficiency method for cluster-based sensor networks[C]. ICCSA 2005, LNCS 3480, 2005: 1170-1176.
- [4] Younis O., Fahmy S. HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks[C]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.
- [5] Ye Mao, Li Cheng-Fa, Chen Gui-Hai, et al. An energy-efficient clustering scheme in wireless sensor networks[C]. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, Boston, MA, 2005: 732-739.
- [6] 李成法, 陈贵海, 叶懋, 等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27-36.
- [7] 李建中, 李金宝, 石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报, 2003, 14(10): 1717-1727.
- [8] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.
- [9] 王珊珊, 殷建平, 张国敏, 等. 一种无线传感器网络定位问题中的分簇算法[J]. 计算机科学, 2008, 35(8): 29-31.