

# 一种新的无线传感器网络传输机制——RNTA 算法的研究与仿真

张振江 刘云

(北京交通大学电子信息学院 北京 100044)

**摘要:** 针对无线传感器网络体积小与能量受限的特点, 该文提出了一种新的传输机制—RNTA 算法, 即将无线传感器网络中的部分冗余节点组成中继树, 并利用该树作为网络内信息传输的代理, 完成了信息从簇头到基站的传输, 达到了节省正常节点和簇头能量的目的。仿真结果表明: 该机制可以有效提高网络的生命周期。

**关键词:** 冗余节点传输代理; 能量消耗; 生命周期

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)05-1202-04

## A New Wireless Sensor Network Transmission Mechanism—Research and Simulation of RNTA Algorithm

Zhang Zhen-jiang Liu Yun

(College of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** To enhance the entire network lifetime of wireless sensor network, this paper puts forward a new transmission mechanism by redundant nodes basing on the characters that the sensor nodes are tiny and energy-limited. The method builds an redundant nodes tree as the transmission agents to realize the information exchange between the clusters and base-station so that the energy consumption of normal nodes and clusters' heads can be decreased. The simulation results show that the mechanism can improve the lifetime of effective wireless sensor nodes largely under the condition that the nodes are relative dense and the redundant nodes exist.

**Key words:** Redundant nodes transmission agents; Energy consumption; Lifetime

### 1 引言

无线传感器网络是一种新兴的网络技术, 它完全采用分布式处理方式, 具有监测精度高、容错性能好、覆盖区域大和可远程监控等众多优点。但是该网络也存在着致命的缺点: 即由于受到体积和成本等方面的限制, 网络内的节点所携带能量相对较少且不能补充, 造成了无线传感器网络应用的“瓶颈”<sup>[1]</sup>。因此, 在保障网络正常运行的前提下, 研究如何降低能耗以提高无线传感器网络的生命周期也就成了当前研究的热点问题之一。

针对无线传感器网络内节点分布呈随机性的特点, 一些专家提出了暂时关闭网络内的部分冗余节点和让所有节点轮流工作的方法, 降低了某些单个节点的能量消耗和提高了某些单个节点的生命周期。但是该方法仅降低了部分冗余节点和对应正常节点各自产生的信息量, 在一定的范围内或部分节点上达到了延长网络寿命的目的。特别是对于在传感器网络的所有监测区域的节点不一定存在足够的冗余节点的情况下, 该方法的应用更加有限。

目前, 针对无线传感器网络中节点分簇和节点随机分布的特点, 在一些研究成果中又提出了对簇的综合管理和使用的方法。比较有影响的方法主要有以下几种: 低能耗自适应

分簇(LEACH)算法<sup>[2]</sup>是一种自适应型分簇拓扑算法, 通过让各节点等概率的担任簇头达到相对均衡网络中各节点所消耗的能量的目的; 两阶段分簇算法<sup>[3]</sup>的基本思想是: 网络内的传感器节点可以根据需要来决定采用直连链路或数据中继链路来实现信息到基站的传输; 基于智能配对和搜索的启发式算法<sup>[4]</sup>研究了能量供应和中继节点的放置问题; 能量有效的分簇算法<sup>[5]</sup>提出了一个在保证全网连通性的前提下如何实现发射功率的简单分布式算法; 文献[6]中提到的算法是基于本地能量来选举簇头并实现负载均衡的; 文献[7]提出了一种网格化分布式分簇算法, 即以网格内能量和其它参数, 如节点概率和节点等级等为基准来周期性地选择簇头; 在文献[8,9]中提出的非均匀分簇算法针对网络内靠近基站的簇可以为其它相对较远处的簇提供信息中继功能而导致能量消耗较大的特点, 提出了应将靠近基站地点的簇划分成相对较小、而远离基站的地点簇划分成相对较大的分簇方法从而实现了网络内整体能量的均衡。

综上所述可知, 以上各种算法仅仅针对网络中继节点选择和如何分簇问题进行了研究, 即使有的研究涉及到了冗余节点的利用问题, 也仅局限于研究活动的节点和冗余节点的周期性替换, 没有很好地解决冗余节点的利用率问题, 不能有效地提高无线传感器网络的生命周期。因此, 为了提高网络冗余节点的利用率和发挥非等密度冗余节点的潜力, 本文提出了一种新的提高无线传感器网络生命周期的方法—冗

冗余节点传输代理方法 (Redundant Nodes Transmission Agents, RNTA), 以下简称RNTA方法。

## 2 RNTA 的方法

### 2.1 RNTA 的基本原理

冗余节点传输代理方法的基本思想是利用无线传感器网络的冗余节点来建立冗余节点中继树, 并以该树作为网络内信息传输的代理, 实现信息从簇头到基站的传输, 因此, 可以节约正常节点和簇头的能量。

RNTA 的实现步骤是:

(1)在获取各个节点的地理位置的基础上, 找出并标识各个冗余节点;

(2)根据冗余节点的密集性偏差和稀疏性偏差<sup>[10]</sup>, 从每个簇内选择一个处在簇内相对“均匀”位置的冗余节点来建立一棵连接各簇的冗余节点树, 并保证每个冗余节点能够知道自己的上级节点或基站, 在这里, 基站被定义为树根, 上级则是指朝着树根方向的;

(3)考虑减少消息传递所带来的能量消耗, 采用广播消息方式一次性通知各个节点簇头及簇成员谁是冗余节点树上的冗余节点;

(4)各簇头节点接收本簇内其他簇成员的传感器信息, 并对该信息采用数据聚合的方法进行信息会聚以减少需要传递的能量;

(5)在簇头节点完成数据会聚后, 将数据再发送给冗余节点树上的“相邻”的冗余节点, 所谓“相邻”是指如果本簇内存在冗余节点, 则将数据发送给该冗余节点, 如果不存在, 则寻找上级簇(或基站)上的节点, 并将数据发送给该冗余节点;

(6)“相邻”的冗余节点接收到簇头信息后, 再选择其上级节点, 将信息传出去, 如此依次逐级向上传递, 直至基站为止。

这样就实现了信息由簇头到基站的传输, 其具体流程如图1所示。

### 2.2 应用 RNTA 分析典型实例

为了较好理解 RNTA 方法, 下面将应用 RNTA 方法对图2所示的一个典型的无线传感器网络进行分析。

如图2所示, 该网络被分为12个簇, 且每个簇与基站的位置距离都有较大的差异, 其中簇1, 5, 9相对较近, 并与基站直接相连; 簇2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12与基站相距较远, 可以采用多跳形式将信息传送到基站; 簇10内没有冗余节点, 而其余的簇内都至少存在一个冗余节点。

应用 RNTA 方法, 可得到以下基本步骤:

(1)由基站节点或管理节点获取各个节点的地理位置和覆盖范围, 从而找出并标识各个冗余节点, 如图中  $\Delta$  所示。

(2)判断冗余节点在簇内的均匀性, 选择均匀性最高的节点, 构建冗余节点树, 如图中细线所示。

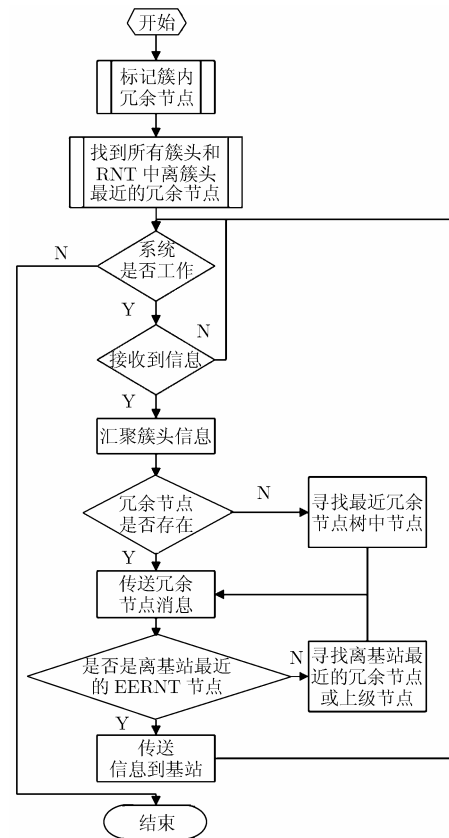


图1 RNTA 的基本流程图

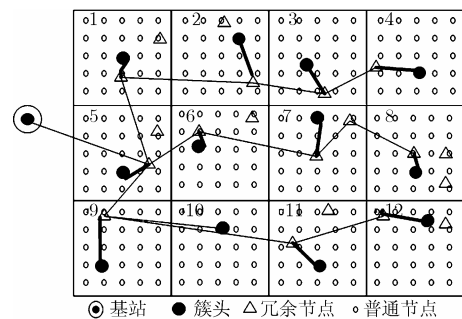


图2 采用 RNTA 的无线传感器网络分布实例

(3)将树上的冗余节点通知给各簇头及成员。

(4)簇头节点接收其它簇成员的传感器传感信息, 并采用数据聚合的方法进行信息会聚。

(5)簇1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11和12的簇头节点将数据分别发送给本簇内 RNTA 上的冗余节点; 由于簇10中没有冗余节点, 故直接寻找上级, 也即簇9中的冗余节点了。

(6)该冗余节点负责将信息上传到上级节点(或基站)。其中, 簇1, 5, 9内的冗余节点将接收信息直传至基站; 簇2, 3, 4, 6, 7, 8, 11和12内的冗余节点寻找上级冗余节点, 并逐级传至基站。

## 3 RNTA 的数学模型

根据文献[8]和文献[9], 可以得到节点  $i$  到基站的信息速

率:

$$f_{iB} = \eta \sum_{1 \leq i \leq n} f_{n_i, B} \quad (1)$$

其中  $i$  是正常节点下标,  $\eta$  是数据融合系数。同样, 根据文献[11]和文献[12], 可知节点  $i$  到节点  $K$  数据发送的信息功率:

$$P_t(i, k) = (\alpha + \beta d_{ik}^m) \cdot f_{ik} \quad (2)$$

节点  $i$  接受其他节点上的数据需要的接收功率:

$$P_r(i) = \rho \sum_{1 \leq s \leq N+M}^{s \neq i} f_{is} \quad (3)$$

其中  $\alpha, \beta, \rho$  分别是接收数据时能量的距离参数,  $m$  是路径丢失参数。根据式(1), 式(2) 和式(3)可知, 节点的每个活动周期内能耗为:

$$P(i) = (\alpha + \beta d_{iB}^m) \cdot \eta \cdot \sum_{1 \leq s \leq N}^{s \neq i} f_{is} + \rho \sum_{1 \leq s \leq N}^{s \neq i} f_{is} + P_c(i) + \varepsilon_i \quad (4)$$

其中  $P_c$  是控制信息处理功率,  $\varepsilon$  是噪声消耗功率。假定每个单元时间内节点活动的时间为  $T_A$ , 单元时间总的长度为  $T_T$ , 则节点的生命周期  $L(i)$  可表示为:

$$L(i) = \frac{E_{n_i} - E_{th}}{P(i) \cdot T_A} \cdot \frac{T_T}{T_A} \quad (5)$$

其中  $E_i$  是节点初始能量,  $E_{th}$  是正常工作能量门限。

在采用了 RNTA 机制的条件下, 可以推导出簇头节点的功率为:

$$P_{RNTA}(i) = (\alpha + \beta d_{ij}^m) \cdot \eta \cdot \sum_{1 \leq s \leq N}^{s \neq i} f_{is} + \rho \sum_{1 \leq s \leq N}^{s \neq i} f_{is} + P_c(i) + \varepsilon_i \quad (6)$$

冗余节点的功率:

$$P_{RNTA}(j) = \eta \cdot \rho \sum_{1 \leq s \leq N}^{s \neq j} f_{js} + (\alpha + \beta d_{jB}^m) \cdot \eta \cdot \sum_{1 \leq s \leq N}^{s \neq j} f_{js} \quad (7)$$

簇内普通节点的生命周期:

$$L_{RNTA}(i) = \frac{(E_i - E_{th}) \cdot T_T}{\left( (\alpha + \beta d_{iB}^m) \cdot \eta \cdot \sum_{1 \leq s \leq N}^{s \neq i} f_{is} \right) + \rho \sum_{1 \leq s \leq N+M}^{s \neq i} f_{is} + P_c(i) + \varepsilon_i} \cdot T_A^2 \quad (8)$$

网络的生命周期:

$$L_{RNTA} = \min(L_{RNTA}(i)) \quad (9)$$

其中  $j$  是冗余节点下标,  $f_{is}$  是普通节点  $i$  到普通节点  $s$  的信息速率,  $f_{js}$  是普通节点  $s$  到冗余节点  $j$  的信息速率,  $f_{jB}$  是冗余节点  $j$  到基站的信息速率。

#### 4 仿真性能分析

为了验证 RNTA 方法对传感器网络性能的影响, 下面以图2为例进行仿真验证。

假定网络中活动着的传感器节点为 300 个, 冗余节点有 32 个, 其中, 节点的序号从簇 1 开始, 由左向右, 自上而下依次为 1-300, 网络覆盖的分布区域大小为 600m×800m。

在选择好冗余节点代理树的前提下, 分别设定式(2)、式(3)、式(4)和式(5)内的典型值为  $\alpha = 50\text{nJ/bit}$ ,  $/\text{bit}/\text{m}^4$ ,  $m = 4$  和  $f_{iB} = 10\text{kb/s}$ <sup>[13]</sup>, 通过 OPIFIN 仿真, 可得到不采用 PNTA 机制的每个节点的生命周期如图3所示。再将上述值分别代入式(6)-式(9), 可以得到采用 RNTA 机制的节点的生命周期如图4所示。

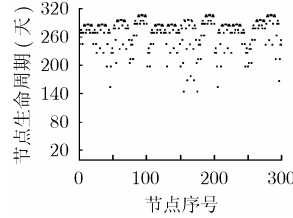


图3 未采用 RNTA 无线传感器网络节点的生命周期

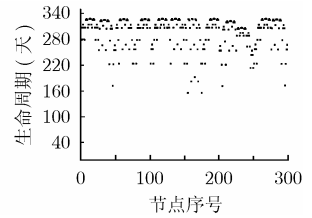


图4 采用 RNTA 线传感器网络节点的生命周期

分析图3和图4可知, 采用 RNTA 机制大约可以提高网络节点和整个网络生存周期性能 10%, 网络分布改变后的大量类似实验可以得到相同的结论。

#### 5 结束语

本文提出的构建冗余节点中继树的方法, 尤其适用于网络内冗余节点相对较多, 且整个无线传感器网络对生存周期非常敏感的情况。仿真结果表明: 该方法将有效提高无线传感器网络的生命周期, 尤其是在节点密度相对较高, 而冗余节点相对较多的条件下, 系统将获得较高的整体性能。

但是, RNTA 算法没有研究由于簇头调整而导致冗余节点树动态更新等问题, 这将是本文下一步工作的重点。

#### 参考文献

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, and Cayirci E. Wireless sensor networks: A survey. *Comput. Networks (Elsevier)*, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] Heinzelman W R, Chandrakasan A, and Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Trans. on Wireless Communications*, 2002, 1(4): 660-670.
- [3] Thepvilojanapong N, Tobe Y, and Sezaki K. On the construction of efficient data gathering tree in wireless sensor networks. Circuits and Systems, Kobe, Japan, ISCAS 2005. IEEE International Symposium on 23-26 May 2005, Vol. 1: 648-651.
- [4] Hou Y T, Shi Yi, Sherali H D, and Midkiff S F. On energy provisioning and relay node placement for wireless sensor networks. *IEEE Trans. on Wireless Communications*, 2005, 4(1): 2579-2590.
- [5] Chang J H and Tassiulas L. Energy conserving routing in wireless Ad-hoc networks. in Proc. IEEE INFOCOM, Tel-Aviv, Israel, Mar. 26-30, 2000: 22-31.
- [6] Wattenhofer R, Li L, Bahl P, and Wang Y M. Distributed

- topology control for power efficient operation in multihop wireless Ad hoc networks. in Proc. IEEE INFOCOM, Anchorage, AK, Apr. 22-26, 2001: 1388-1397.
- [7] Younis O and Fahmy S. HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for Ad Hoc sensor networks. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2004, 3(4): 660-669.
- [8] Li Chengfa, Ye Mao, Chen Guihai, and Wu Jie. An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks. Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, Washington, USA, 2005, IEEE International Conference on Nov. 7, 2005: 597-604.
- [9] Choi W, Shah P, and Das S K. A framework for energy-saving data gathering using two-phase clustering in wireless sensor networks. in Proceedings of Int'l Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MOBIQUITOUS), Boston, USA, 2004: 203-212.
- [10] 胡东红, 李德华, 王祖喜. 均匀性度量中的密集性偏差与稀疏性偏差. *数学物理学报*, 2002, 22A(1): 128-134.  
Hu Dong-hong, Li De-hua, and Wang Zu-xi. New Measurements of Uniformity-Compression Discrepancy and Sparseness Discrepancy. *Acta Mathematica Scientia*, 2002, 22A(1): 128-134.
- [11] Ye M, Li C F, Chen G H, and Wu J. EECS: An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks. in Proceedings of IEEE Int'l Performance Computing and Communications Conference(IPCCC), Phoenix Arizona, USA, 2005: 535-540.
- [12] Perillo M, Cheng Z, and Heinzelman W. On the problem of unbalanced load distribution in wireless sensor networks". in proceedings of the IEEE GLOBECOM Workshops on Wireless Ad hoc and Sensor Networks, Dallas Texas, USA, 2004: 74-79.
- [13] Rappaport T S. *Wireless Communications: Principles and Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996: 611-614.
- 张振江: 男, 1973 年生, 博士生, 讲师, 主要研究方向为无线传感器网络、网络安全等.
- 刘云: 女, 1955 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 北京交通大学通信系系主任, 现代通信网实验中心主任, 主要研究方向为信息网络、网络安全等.