

# 线形异构传感器的网络生命周期<sup>①</sup>

袁辉勇 (湖南人文科技学院 计算机科学技术系 湖南 娄底 417000)

易叶青 胡楚然 (湖南大学 计算机与通信学院 湖南 长沙 410082)

**摘要:** 无线传感器网络的能耗决定了网络的生命周期,如何有效部署传感器节点来延长网络的生命周期是一个重要的研究课题。针对由高级节点和普通节点组成的线形异构传感器网络,给出了最大化网络生命周期模型。通过分析节点的能量消耗,求解出了两种节点的分配比例,得出了最大化网络生命周期的节点部署方案。

**关键词:** 无线传感器网络; 异构; 模型; 能耗; 生命周期

## Lifetime of Line Heterogeneous Wireless Sensor Networks

YUAN Hui-Yong<sup>1</sup>, YI Ye-Qing<sup>2</sup>, HU Chu-Ran<sup>2</sup>

(1. Department of Computer Science, Hunan Institute of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, China; 2. College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** The lifetime of a wireless sensor network (WSN) directly lies in the power consumption of the network. Thus one of the important problems is how to deploy the sensor nodes efficiently to prolong the lifetime of the sensor network. A maximizing lifetime model is proposed by analyzing a line heterogeneous wireless sensor networks which consist of two types of nodes: one is advanced nodes, the other is normal nodes. Based on the theory analysis of the two types of sensor's energy consumption, the allocation proportion between different nodes is calculated, and a maximizing lifetime scheme of node deployment is proposed.

**Keywords:** wireless sensor networks; heterogeneous; energy consumption; model; lifetime

## 1 引言

无线传感器网络是由大量部署在监测区域中的微型廉价低功耗传感器节点通过无线通信方式形成的多跳网络系统。传感器节点具有数据采集、处理、无线通信和自动组网的能力,协作完成大型和复杂的监测任务。在军事、环境监测、工业控制和城市交通等领域有广泛的应用前景。

传感器节点体积微小、能量有限且不可补充,因此,降低系统的能量消耗、能延长网络的生命周期是传感器网络中的关键问题<sup>[1]</sup>。线形传感器网络是一种比较特殊的无线传感器网络模型,其监控区域近似于

线段,如道路、矿井、河流、桥梁等都可近似为线型区域。现有的文献大多假设传感器节点同构,并且对线形监测区域的研究较少。文献[2]研究了在保证网络连通的情况下,通过减小节点的发射功率来最大化网络生命周期。虽然文献[3]中提到了在同一网络中配置不同的传感器节点,但是没有进行更深入的研究。文献[4]研究了由两种节点组成的圆形异构传感器网络,给出了求解网络生命周期的最优化模型,并得到了模型的最优解。它是通过调整节点的发射半径来实现网络寿命的最大化,在实际应用中较难控制。

本文研究了由高级节点(advanced node)和普通

① 基金项目:湖南省自然科学基金(09JJ6907);湖南省教育厅科研项目(09C547);湖南省“十一五”重点学科建设项目

收稿时间:2009-06-30

节点(normal node)组成的线形异构传感器网络的生命周期问题,给出了最大化网络生命周期模型。通过分析两种节点的能耗,计算出了两种节点的分配比例,得出了最大化网络生命周期的节点部署方案。

## 2 系统假设和问题陈述

### 2.1 能耗模型

无线传感器网络的大部分能耗用于通信,节点间通信所消耗的能量比感知和计算所消耗的能量要大得多。因此,传感器节点在进行运算和存储的能耗可以忽略不计。本文采用文献[2]中的能量消耗模型,假定节点传输比特数据且传送距离为 $l$ ,所消耗的能量为

$$E_{tx}(d, l) = (\beta + \alpha \times d^2) \times l \quad (1)$$

节点接收比特数据所消耗的能量为

$$E_{rx}(l) = \beta \times l \quad (2)$$

在上面的公式中, $\alpha$ 表示无线电收发电路所消耗的能量, $\beta$ 表示放大器所消耗的能量。 $\alpha$ 的典型取值为 $100 \text{ pJ/bit/m}^2$ , $\beta$ 的典型取值为 $50 \text{ nJ/bit}$ 。

### 2.2 网络模型

本文将网络监测区域简化成长度为 $L$ 的线段、基站(Base Station)位于线段的端点,两种节点随机均匀散布在监测区域中。网络基于簇的方式收集数据,普通节点作为簇的成员将感知数据传输到高级节点,高级节点将数据融合后通过多跳方式传输到基站。线形传感器网络模型如图1所示。

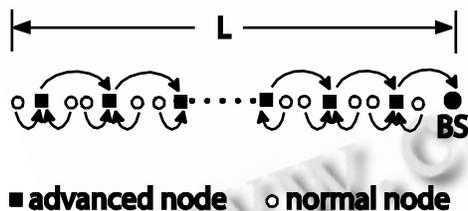


图1 线形异构传感器网络模型

许多算法都假定簇头节点在进行数据融合时,将所有数据包融合成一个数据包。不失一般性,本文假设高级节点按公式(3)将 $n$ 个数据包融合成 $m$ 个数据包。

$$M = N - (N - 1)\xi \quad (3)$$

其中 $0 \leq \xi \leq 1$ 。特别地,当 $\xi = 1$ 时,高级节点将 $n$ 个数据包融合成一个数据包;当 $\xi = 0$ 时,高级节点不进行数据融合,直接将数据转发到基站。

### 2.3 问题陈述

假设每个高级节点和普通节点的初始能量分别为

$E_0$ 和 $E_1$ 。当节点总能量为定值 $E_{all}$ 时,如何部署具有给定能量 $E_0$ 和 $E_1$ 两种传感器节点,以实现网络生命周期的最大化是本文需要求解的主要问题。

我们认为,通过建立最大化网络生命周期模型,求解出部署在网络中的两种传感器节点的数量,利用覆盖调度可以实现网络生命周期的最大化。

## 3 最大化生命周期模型

用 $E_{advanced}$ 和 $E_{normal}$ 分别表示高级节点和普通节点在一次数据收集中平均消耗的能量, $N_0$ 和 $N_1$ 分别表示高级节点和普通节点的数目, $T_0$ 和 $T_1$ 分别表示高级节点和普通节点能够成功发送采集数据的轮数。为实现网络生命周期的最大化,希望两种节点能够同时“死亡”,最大化网络生命周期模型为

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \text{Min}\{T_0, T_1\} \\ \text{s.t.} \quad & N_0 E_0 + N_1 E_1 = E_{all} \\ & T_0 = \frac{E_0}{E_{advanced}}, \quad T_1 = \frac{E_1}{E_{normal}} \end{aligned} \quad (4)$$

## 4 模型求解

由前面的假设可知,区域个数等于高级节点个数 $N_0$ ,即 $n = N_0$ ,并设离Sink最远的区域的编号为1,靠近Sink的区域的编号为 $n$ 。每个区域的长度 $R = \lceil L/n \rceil$ ,高级节点的通信半径为 $R$ 。设节点感应到的数据包的长度为 $len$ 比特,下面先计算普通节点的平均能耗。

在每个长度为 $R$ 的区域中,普通节点与高级节点间的距离的平方的期望值约为

$$E[r^2] = \frac{1}{R/2} \int_0^{R/2} x^2 dx = \frac{R^2}{12} \quad (5)$$

由前面的能耗模型可知,普通节点传输数据到高级节点的平均能耗为

$$E_{normal} = (\alpha + \beta \times E[r^2]) \times len \quad (6)$$

下面再计算第 $i$ 个区域中高级节点的平均能耗。

在长度为 $R$ 的区域中约有 $N_1/N_0$ 个普通节点,高级节点接收普通节点数据的能耗为

$$E_{adv\_rx1} = N_1/N_0 \times \alpha \times len \quad (7)$$

第 $i$ 个区域中的高级节点需要负责外围 $i-1$ 个区域中数据包的转发,节点接收外围的 $i-1$ 个区域的数据包所消耗的能量为

$$E_{adv\_rx2} = (i-1) \left( \frac{N_1}{N_0} - \left( \frac{N_1}{N_0} - 1 \right) \xi \right) \alpha len \quad (8)$$

节点传输自身和外围区域的数据包到第  $i+1$  个区域时的能耗为

$$E_{adv\_tx} = i \left( \frac{N_1}{N_0} - \left( \frac{N_1}{N_0} - 1 \right) \xi \right) (\alpha + \beta R^2) len \quad (9)$$

因此, 第  $i$  个区域中高级节点的总能耗为

$$E_{adv} = E_{adv\_rx1} + E_{adv\_rx2} + E_{adv\_tx} \quad (10)$$

高级节点的平均能耗为

$$E_{advanced} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^n E_{adv} \quad (11)$$

令  $T_0 = T_1$ , 再综合  $N_0 E_0 + N_1 E_1 = E_{all}$ , 即可求解出高级节点的个数  $N_0$  和普通节点的个数  $N_1$ 。

### 5 仿真实验

为了验证上述模型及求解结果的有效性, 针对融合参数  $\xi$ 、区域长度  $L$  和网络总能量  $E_{all}$  做了仿真实验, 实验中设定两种传感器节点的初始能量为  $1J$  和  $0.1J$ 。下面的每个实验结果都是  $100$  次实验的平均值。

数据融合参数  $\xi$  对能耗的影响如图 2 所示。实验中, 区域长度设置为  $1000m$ , 网络总能量设为  $10J$ 。从图 2 可以看出, 随着融合参数  $\xi$  的增大, 网络向基站传输的数据包减小, 网络总能耗逐步下降。

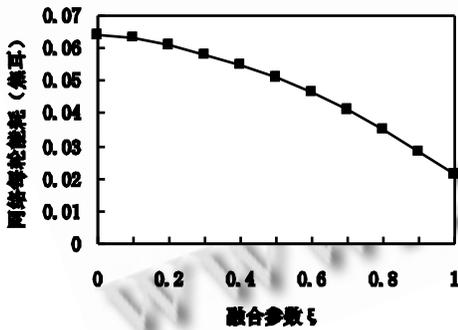


图 2 融合参数  $\xi$  对网络能耗的影响

区域长度和网络总能量对高级节点个数的影响如图 3 所示。实验中将网络总能量分别为  $10J$ 、 $20J$ 、 $30J$ 、 $40J$ 、 $50J$ 、 $60J$  的节点部署在长度为  $500m$ 、 $1000m$ 、

$1500m$ 、 $2000m$ 、 $2500m$ 、 $3000m$  的线形区域内, 以保持网络中节点的能量密度一致。可以看出, 随着区域长度的增大, 网络中需要部署的高级节点逐渐增多。这是因为随着网络区域的增大, 节点将数据发送到基站的能耗增加, 因此, 网络中需要更多的高级节点。

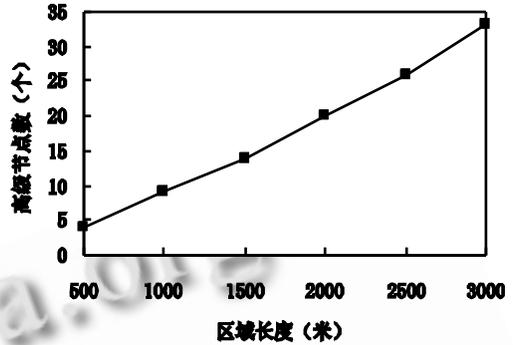


图 3 区域长度与高级节点数

### 6 结语

延长网络的生命周期是传感器网络设计的主要目标, 建立与求解传感器网络生命周期最大化模型具有重要的理论价值和实际意义。本文研究了线形异构传感器网络的生命周期问题, 给出了最大化网络生命周期模型。通过分析两种节点的能耗情况, 求解出了两种节点的部署比例, 得出了最大化网络生命周期的节点部署方案。

#### 参考文献

- 1 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展. 计算机研究与发展, 2005, 42(1): 163 - 174.
- 2 Lian J, Naik K, Agnew G Data Capacity Improvement of Wireless Sensor Networks Using Non-uniform Sensor Distribution. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2006, 2(2): 121 - 145.
- 3 Potrie GJ, Kaiser WJ. Wireless integrated network sensors. Communications of ACM, 2000, 43(5): 51 - 58.
- 4 杨文国, 郭田德, 赵彤. 异构监测传感器网络寿命最大化模型及其求解. 计算机学报, 2007, 30(4): 532 - 538.