

异构传感器网络节点部署算法^①

袁辉勇¹ 羊四清^{1,2} (1.湖南人文科技学院 计算机科学技术系 湖南 娄底 417000;

2.湖南大学 计算机与通信学院 湖南 长沙 410082)

摘要: 传感器节点的部署方式有确定性的和自组织两种。研究了由高级节点和普通节点组成的异构传感器网络的节点部署问题。给出一种满足连通覆盖条件的最大化网络寿命模型,通过分析节点的能量消耗,计算出了最大化网络寿命时两种节点的部署比例,提出了最大化网络寿命的节点部署算法。

关键词: 传感器网络;异构;节点部署;算法

Node Deployment Algorithm for Heterogeneous Sensor Networks

YUAN Hui-Yong¹, YANG Si-Qing^{1,2}

(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 sensor node deployment is either deterministic or self-organizing. This paper studies node deployment of heterogeneous wireless sensor networks, which consists of two types of nodes: one is advanced nodes, the other is normal nodes. It also analyzes the two types of sensor's energy consumption, and a maximizing lifetime model is proposed, which satisfies connectivity and coverage conditions. The proportion between two types nodes is calculated, and a new node deployment algorithm for heterogeneous wireless sensor networks is proposed.

Keywords: sensor networks; heterogeneous; node deployment; algorithm

1 引言

无线传感器网络是由大量的微型传感器节点组成,传感器节点具有一定的计算、存储和无线通信能力,节点被部署到特定区域对某些环境数据进行监测和采集。可广泛应用于军事侦察、环境监测、医疗监护、农业养殖以及空间探索和灾难抢险等特殊领域^[1]。

节点部署是无线传感器网络的一个基本问题,决定着传感器监测物理空间的效果,进而影响网络的服务质量。一般来讲,传感器网络节点部署方法需要在完成监测任务的前提下,尽量节省能耗以延长网络寿命。已有一些学者对此进行了研究,并取得了一些成果^[2-4]。文献^[2]针对节点同构的无线传感器网络部署冗余的特点,提出了基于嵌套网络的节能部署方法,

并依据物理参数梯度设计了非均匀部署节点算法。文献^[3]考虑了在同一网络中配置不同传感器节点的情况,但是没有进行更深入的研究。文献^[4]研究了由两种传感器节点组成的异构监测网络,给出了考虑连通覆盖约束条件的网络寿命最优化模型,并且得到了模型的最优解,它是通过调整传感器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。

2 系统假设和问题陈述

2.1 网络模型

本文假设异构传感器网络的节点有高级节点和普通节点两种,每个高级节点的初始能量为 E_0 ,每个普通节点的初始能量为 E_1 。两种节点随机均匀散布在边长为 w

① 基金项目: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:2009-08-18;收到修改稿时间:2009-09-28

的正方形监测区域中，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传输到远离监测区域的 Sink。Sink 位于正方形监测区域的正上方，Sink 与监测区域边界的距离为 H ，在网络布设完成后，节点和 Sink 不再移动。网络模型如图 1 所示。

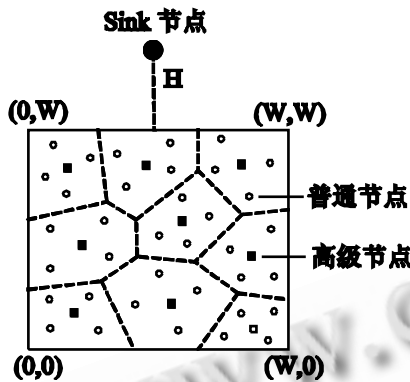


图 1 异构传感器网络模型

2.2 数据融合模型

许多算法都假定簇头节点进行数据融合时，将所有数据包融合成一个数据包。不失一般性，本文假设高级节点将普通节点的 N 个数据包融合成 M 个数据包。

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

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 1 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 Sink。

2.3 能耗模型

本文忽略传感器节点在计算、存储等过程中的能量消耗，仅考虑节点间通信的能量消耗。根据无线通信理论，能量衰减模型随发送距离的远近分为自由空间模型和多路衰减模型，当发送距离小于等于阈值常量 d_0 时，发送数据时的功耗和距离的平方成正比，当发送距离大于 d_0 时，功耗和距离的四次方成正比^[4]。当通信距离为 d 时，节点发送 k 比特数据所消耗的能量为

$$E_{tr}(k, d) = E_{elec}(k) + E_{amp}(k, d) = \begin{cases} k \times E_{elec} + k \times \epsilon_{fr} \times d^2 & , d \leq d_0 \\ k \times E_{elec} + k \times \epsilon_{mp} \times d^4 & , d > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

节点接收 k 比特数据所消耗的能量为

$$E_{rx} = k \times E_{elec} \quad (3)$$

其中， $d_0 = \sqrt{\epsilon_{fr} / \epsilon_{mp}}$ ； E_{elec} 为收发电路的基本功耗系数，其典型取值为 50 nJ/bit ； E_{amp} 为放大电路的功耗系数，在两种模型中的典型取值分别为 $13 \text{ pJ/(bit} \times \text{m}^2)$ 和 $0.0013 \text{ pJ/(bit} \times \text{m}^4)$ 。

本文假设 Sink 远离监测区域，所有节点与 Sink 之间的距离大于 d_0 。

2.4 问题陈述

对于异构传感器网络，在节点的总能量为定值 E_{total} 的前提下，如何确定分别具有给定能量 E_0 和 E_1 的两种传感器节点数目 N_0 和 N_1 ，并满足一定的连通覆盖条件，实现网络寿命的最大化是本文需要求解的问题。

我们认为，通过控制两种节点的部署比例可以实现异构传感器网络寿命的最大化。

3 最大化寿命模型

在传感器网络中，每个节点完成一次探测数据的收集并将数据发送到 Sink，称为网络的一次数据收集。从开始感知数据到探测到的数据无法成功地传递到 Sink 为止，网络所成功完成数据收集的次数，称为该传感器网络寿命。

假设系统的总能量为 E_{total} ，用 p_0 和 p_1 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，用 T_0 和 T_1 分别表示高级节点和普通节点的寿命。为了实现网络寿命的最大化，希望两种节点能够同时“死亡”，因此，最大化网络寿命模型为

$$\begin{aligned} & \text{Max} \quad \text{Min}\{T_0, T_1\} \\ & \text{s.t.} \quad N_0 E_0 + N_1 E_1 = E_{total} \\ & \quad T_0 = \frac{E_0}{p_0}, \quad T_1 = \frac{E_1}{p_1} \\ & \quad 0 \leq \xi \leq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

4 模型求解

4.1 能耗分析

高级节点在网络中担任簇头的角色，因此，在边长为 W 的正方形监测区域中共有 N_0 个簇。由文献^[5]可知，随机分布的节点可以看作为一个泊松过程，每个簇中普通节点个数的期望值为 N_1 / N_0 。

假设每个数据包的长度为 len ，下面分别计算高级节点和普通节点的平均能耗 p_0 和 p_1 。

用 D_0 表示高级节点与 Sink 节点间的距离, 用 D_1 表示普通节点与高级节点间的距离。根据前面节点随机均匀部署的假设, 可得 D_0^4 的期望值为

$$E[D_0^4] = E\left[\left((x - W/2)^2 + (Y - W - H)^2\right)^2\right]$$

$$= \int_0^W \int_0^W \left((x - W/2)^2 + (Y - W - H)^2\right)^2 / W^2 dx dy \quad (5)$$

$$= H^4 + 2H^3W + \frac{13}{6}H^2W^2 + \frac{7}{6}HW^3 + \frac{193}{720}W^4$$

高级节点的能耗主要用于接收普通节点的数据和将融合后的数据传输到 Sink。因此, 在一次数据收集过程中, 高级节点的平均能耗为

$$p_0 = N_1 \times len \times E_{elec} + \frac{N_1}{N_0} M \left(len \times E_{elec} + len \times emp \times E[D_0^4] \right) \quad (6)$$

N_0 个簇随机均匀地分布在边长为 W 的正方形监测区域中, 由小量的计算可得 D_1^2 的期望值为

$$E[D_1^2] = \frac{8W^2}{3\pi N_0^2} \quad (7)$$

在一次数据收集过程中, 普通节点的平均能耗为

$$p_1 = len \times E_{elec} + len \times \epsilon_{fr} \times E[D_1^2] \quad (8)$$

由式(4)、式(5)、式(6)、式(7)、式(8)可求解出最大化网络寿命时两种节点的个数 N_0 和 N_1 。

4.2 节点部署方案和网络寿命估计

为了有效延长网络的寿命, 希望两种节点具有同样的寿命, 即两种节点能够同时“死亡”。因此, 在部署节点时设置两种节点的比例为 N_1 / N_0 , 实际部署时, 如果节点总数大于 $N_0 + N_1$, 可按比例进行部署。

根据模型中的 $E_0 \times N_0 + E_1 \times N_1 = E_{total}$ 和 $T_0 = T_1$, 可得出网络的寿命为

$$T = \frac{E_1}{p_1} = \frac{E_{total}}{N_0 p_0 + N_1 p_1} \quad (9)$$

5 算例与仿真实验

根据上面的节点部署算法对典型传感器网络作了计算。假设监测区域的边长为 100 m 、Sink 与监测区域边界的距离 $H = 100\text{ m}$ 、网络总能量为 $E_{total} = 20\text{ J}$ 、两种传感器节点的初始能量分别为 1 J 和 0.1 J 。

当融合参数 $\xi = 1$ 时, 得出两种节点个数 $N_0 = 11$ 、 $N_1 = 90$; 当融合参数 $\xi = 0$ 时, 得出两种节点个数 $N_0 = 13$ 、 $N_1 = 70$ 。

为了验证上述模型及求解结果的有效性, 我们针对不同参数做了仿真实验。

数据融合参数 ξ 对能耗的影响如图 2 所示。从图 2 可以看出, 随着融合参数 ξ 的增大, 网络向基站传输的数据减少, 网络总能耗降低。

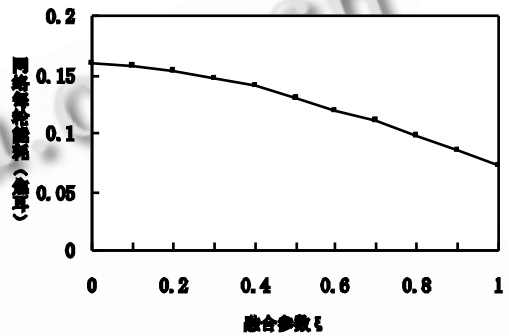


图 2 融合参数对网络能耗的影响

图 3 显示了 Sink 与监测区域的距离对高级节点个数的影响。与前面实验不同的是, 实验中设置网络的总能量为 50 J 。从图 3 可以看出, 随着 Sink 与监测区域之间距离的增大, 网络中需要部署的高级节点逐渐增多。这是因为随着距离的增大, 将数据发送到 Sink 的能耗增加, 因此网络中需要更多的高级节点。

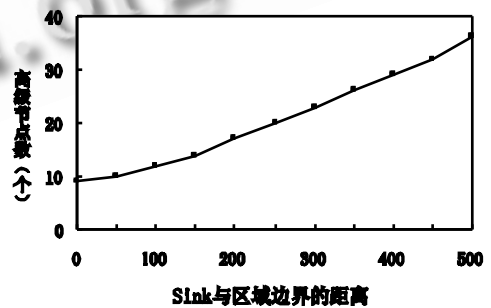


图 3 距离对节点数的影响

6 结语

本文研究了异构传感器网络的节点部署问题, 提出一种最大化网络寿命的节点部署算法。通过计算两种节点的能量消耗, 求解出了两种节点的部署比例, 提出了异构传感器网络的节点部署算法。

(下转第 236 页)

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 刘丽萍,曹峰,王智,孙优贤.基于嵌套网络的无线传感器网络节能部署算法.信息与控制, 2005,35(2):154 - 160.
- 3 Potrie GJ, Kaiser WJ. Wireless integrated network sensors. Communications After 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.
- 5 Hang S, Zhang X. Optimal Transmission Range for Cluster-Based Wireless Sensor Networks With Mixed Communication Modes, International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, Jun, 2006.