

基于混合机制算法的 WSN 节能优化策略

郭 瑞, 徐广璐

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘 要: 在 WSN(无线传感器网络)节能优化过程中,覆盖模型复杂、抽象难以求解.部分节点利用率与覆盖率存在差异性,从而制约无线传感器网络,使能耗降低.针对此问题,提出一种基于混合机制的算法,利用分治思想将节点分为活跃节点和非活跃节点;将部分覆盖算法和唤醒机制算法相结合,建立最优覆盖模型,然后进行求解,得到最优节能方案.该方法能够充分利用节点的不同特点降低算法复杂度,避免不必要的运算消耗.实验表明:混合机制算法分别降低了活跃节点与非活跃的节点能耗;与单一算法相比较效果显著,网络生命周期得到延长.

关键词: 无线传感器网络;节能优化;混合机制算法;覆盖优化;网络生命周期

中图分类号: TP212.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)06-0141-04

An Energy Optimization Strategy of Wireless Sensor Networks Based on Hybrid Mechanism Algorithm

GUO Rui, XU Guang-lu

(College of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: During the WSN (wireless sensor networks) energy optimization process, this paper presents an algorithm based on hybrid mechanism. Divide the nodes into the active ones and the non-active ones according to respective method. Combine the partial coverage algorithm and wake-up mechanism algorithms to build optimal coverage model, and then proceed to solve the optimal energy-saving programs. The method can take advantage of the different characteristics of nodes reduces complexity of the algorithm, to avoid unnecessary consumption of computing. Experiments show that: Mixed mechanism algorithm have reduced the energy consumption of active nodes and non-active node. And the single algorithm is compared with a significant effect. The network has been extended life cycle.

Key words: WSN; energy optimization; mixing mechanism algorithm; coverage optimization; network lifecycle

1 引言

针对 WSN 节点对目标进行监控时模型复杂度较高,难以求解的问题和如何降低能耗增加 WSN 生命以及关于周期的问题,本文提出一种唤醒机制^[1]与部分覆盖机制相结合的算法,将节点进行分治,利用两种不同的机制算法分别对待,将复杂的活跃节点模型由非线性规划问题转化成线性规划问题,降低求解难度,同时采用轮换机制对节点进行适时的唤醒从而达到减小能耗的目的.

2 WSN 覆盖模型

2.1 传感器节点状态与分治算法

无线传感器节点模型是复杂的非线性规划问题,求解困难较大,由于 WSN 资源的匮乏,无线传感器核心处理器存储能力较低,用其求解非线性规划问题计算能力有限^[2],难以求得最优解.因为考虑利用分治的方法,采用轮换算法和部分覆盖算法两种不同机制,针对不同节点采取不同策略,泛化一部分节点的约束条件,降低另一部分节点的使用频次,

收稿日期: 2013-08-07; 修回日期: 2013-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(51274118)

从而实现整体的网络节点的生命周期的延长和能耗降低的目的. 根据监控目标集 $R_{all} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ 的覆盖需求, 将节点集 $S_{all} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 分为活跃节点与非活跃节点两部分. 其中, 忽略活跃节点的具体分配, 泛化节点集的约束条件, 将活跃节点模型转换为更易计算的线性优化方程, 从而避免复杂的机械搜索获取局部最优解. 这种方法的好处在于将 WSN 生命周期作为线性优化方程的最优解, 求解过程中忽略了每时每刻的覆盖模式, 从整体出发, 仅仅考虑整个网络生命周期内达到覆盖需求即可. 对于非活跃节点提出节点轮换机制, 根据要求进行适当唤醒及轮换监控从而减少能量消耗^[3].

2.2 覆盖模型

对于活跃节点采用部分覆盖算法. 规定活跃节点处于 WSN 生命周期 T 时间范围内, 且至少有一组集节点处于工作状态下; 被监控目标 r_k 不随时间改变而发生位置变化; 生命周期内活跃节点的平均活动时间大于非活跃节点的平均活动时间, 活动时能耗为 1, 睡眠时能耗为 0; 定义被监控目标个数为 q (target quantity). 网络覆盖率 ω_1 和节点非工作状态函数 ω_2 为

$$\omega_1 = \frac{\sum_{x_q=1}^m \sum_{y_q=1}^n C_q(s_{all}, q)}{m \times n} \quad (1)$$

$$\omega_2 = \frac{S_{all} - S_{work}}{S_{all}} \quad (2)$$

式中, $C_q(s_{all}, q)$ 为节点对于监控目标的检测概率, $C_q(s_{all}, q)$ 的大小与传感器节点感知半径, 节点通信半径以及相关特性参数有关.

覆盖模型的基本思想是给定目标个数 m , 利用有限节点个数 n , 有限能量 E , 在满足覆盖需求的前提下, 提高 WSN 生命周期. 无线传感节点与监控目标的数学关系 f : 传感器节点集 $S_{all} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 覆盖目标集 $R_{all} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, 无线传感器节点 s_k 覆盖模型的处理核心、几何中心, 其中无线传感器节点的感知范围是以传感半径为半径的圆.

由图 1 可知目标 r_1, r_2, r_3, r_4 分别收到无线传感节点 s_1, s_2, s_3 监控, 传感器节点 s_k 与目标 r_k 并非一一对应的关系, 因而节点与目标监控过程中约束条件也不尽相同, 这造成了网络节点能耗与剩余能量的不均衡性. 目标 r_5 未被节点监控, 利用非活跃节点对 r_5 进行监控, 建立一一对应的数学关系, 对于非活跃节点采用轮换机制, 进行适时唤醒. 其中, 无线传感器节点能耗主要用于信息的运算处理和传

感器节点工作状态下的监控运行. 目标 Q 覆盖需求: 在 WSN 生命周期任意时刻, 目标 r_k 被数量大于 1 的处于活动状态的传感器节点所覆盖 ($k = 1, 2, \dots, m$), 假设某时刻某个传感器节点同时监控若干数量目标. 消耗能量与单位目标消耗能量的关系为

$$\begin{aligned} e &= q \cdot (i_{sleep}^{mon} - i_{sleep}^{pro}) \cdot U + q \cdot (i_{active}^{mon} - i_{sleep}^{mon}) \cdot U \\ &= q \cdot (i_{active}^{mon} - i_{sleep}^{pro}) \cdot U \\ &= q \cdot e_0 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, i_{sleep}^{pro} 为节点睡眠状态下运算处理核心电流; i_{sleep}^{mon} 为节点睡眠状态下监控电流; i_{active}^{mon} 处于工作状态下节点的监控电流. 根据假设, 那么无线传感器节点单位时间能耗为 q .

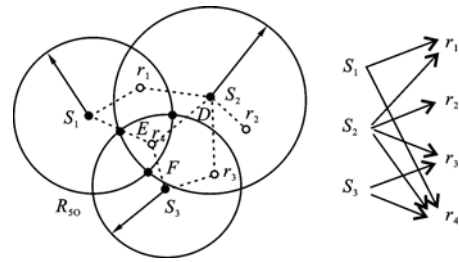


图 1 WSN 节点覆盖关系图

考虑到 WSN 能耗均衡性, 设某区域能量 E_K :

$$E_K = \frac{\sum_{i=1}^{m_k} E_{K_i}}{m_k} \quad (4)$$

式中, E_{K_i} 表示第 K 个节点集的剩余能量, m_k 表示第 K 个节点集节点个数.

2.3 部分覆盖算法

对于活跃节点采用部分覆盖方法, 将活跃节点的覆盖需求由整型转换为非整型, 从而降低模型的复杂度. 利用多项式时间算法建立新的覆盖模型, 将非线性规划问题转化为线性规划问题, 在可计算的复杂度内可以得到部分覆盖的最优解.

为避免每时每刻对目标进行监控带来的困难, 需满足部分覆盖需求, 假设在整个生命周期 T 内存在一个部分覆盖向量 $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$, 使得目标 r_k 满足 f : 存在活跃节点 S_k 至少在 $T \cdot \beta_k$ ($\beta_k \geq 1$) 时间内覆盖监控目标 r_k . 定义布尔变量 $x_{i,k}^q$, 当它为真时, 活跃节点 S_k 满足覆盖需求, 且负责目标 r_k 的监控. 问题被描述为

$$\sum_{f \in F} \sum_{s_i \in U} x_{i,k}^q \cdot t_q \geq \beta_k \cdot T \quad (5)$$

目标函数 t_p 为 f 的时间片段, U 为活跃节点中, 处于工作状态的节点集.

对式 (4) 进行优化, 忽略每时每刻的覆盖需求,

将以上的分析概括为:部分模型的目标函数为 T_{net} , 部分覆盖模型的变量为 s_k 覆盖 r_k 的总时间 $b_{i,k}$. 覆盖优化模型为

$$\max T \quad (6)$$

$$\sum_{s_i \in U} b_{i,k} \geq \beta_k \cdot T \quad (7)$$

$$\sum_{r_k \in U} b_{i,k} \cdot e_0 \leq E \quad (8)$$

$$0 \leq b_{i,k} \leq T, T \geq 0 \quad (9)$$

对于目标 r_k 来说,节点覆盖条件为 $b_{i,k} > 0$; 对于活跃节点 s_k 来说,它覆盖 r_k 的时间长度为 $b_{i,k}$.

3 非活跃节点

相对于活跃节点,非活跃节点采用不同的机制分治对待,以避免不必要的运算处理所带来的资源浪费.其中,可将几类节点划分到此机制方法中:(1) 监控低优先级目标的节点;(2) 关闭节点感知单元后出现不能覆盖目标的盲点区域;(3) 覆盖区域之间不相交的独立节点集;(4) 瓶颈目标,如图1中的 r_5 .

这类节点的共同特点是:节点与监控目标函数关系 f' 相对容易;节点特点突出易于发现可加以控制.对于此类非活跃节点利用轮换机制进行合理调度,从而实现某时刻的无线电路关闭实现真正意义上的能耗降低,具体步骤如下:

① 去除冗余节点,对 WSN 进行优化,以方便后续节点的调度和延长网络生命周期.

② 对节点能量进行初始化,将能量集进行分段处理,从而保证能量消耗的均衡性

③ 利用 ILOG 系列优化软件根据非活跃节点分配实际时间.

④ 对非活跃节点独立执行唤醒策略,整体上协调调度,实现轮换机制.

⑤ 对瓶颈目标集采用布撒单节点方法,对目标进行一对一监控,节点覆盖半径为 $\min d$,其中 d 为节点到达覆盖区域的最小值.

4 融合机制算法

在实际无线传感网络中,有大量的无线传感器节点自组织进行无线通信,这就容易造成 WSN 节点的严重冗余.所以利用混合机制算法对特点不同的节点分治对待,从而实现总体的降低能耗.

具体步骤如下:

(1) 网络初始化,确定无线网络节点监控目标时的初始信息;

(2) 确定节点自身信息:节点位置坐标、初始能量值,计算网络生命周期;

(3) 根据覆盖需求和节点目标要求将节点分为活跃节点和非活跃节点;

(4) 利用部分覆盖算法优化活跃节点集;

(5) 利用唤醒机制分治对待非活跃节点,对节点进行合理调度.

算法具体实现过程如图2所示.

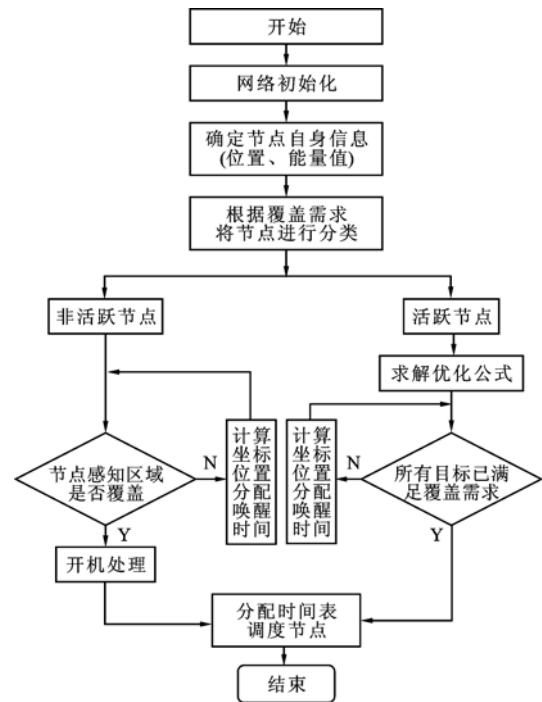


图2 混合机制算法流程图

5 实验与仿真

利用仿真实验软件 matlab 搭建一个实验平台来验证方案的合理性. 设无线传感器的监测区域为 100×100 , 并且所有的节点和被监测目标都在此区域内. 其中无线传感器节点初始能量为 100, 节点数 $n=50$, 目标数 $m=10$. 仿真结果如图3所示.

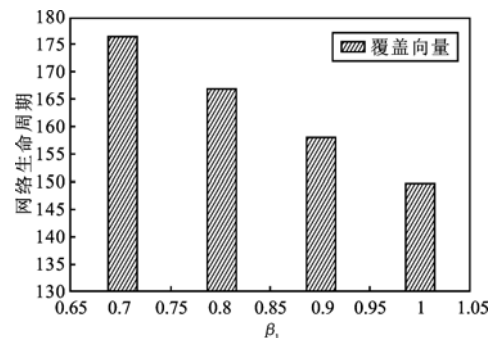


图3 覆盖向量与网络生命周期关系图

图3中,部分覆盖向量 β 初始值为 0.7, 向量步

长为 0.1, 终值为 $\beta = 1$. 图 4 中, 曲线 1 — $r_1(\beta_1)$ 表示: 对于监控目标 r_1 , β_1 为变量, β_2 固定时覆盖向量与覆盖时间关系.

由图 3 可知, 随着部分覆盖向量 β_1 以固定步长增加时, 网络生命周期成线性减小. 这说明覆盖向量与网络生命周期成反比, 节点 s_k 对目标 r_k 监控过程中, 覆盖向量的固定步长增加等效于覆盖时间的线性增长, 那么节点 s_k 覆盖时间随之增长, 这就导致了能耗的增加, 所以网络生命周期线性减小. 由图 4 可以看出, 曲线 1 与曲线 2 随着 β 的增加呈下降趋势, 曲线 3 与曲线 4 随着 β 的增加呈上升趋势. 说明: 随着 β_1 、 β_2 的改变, 目标 r_1 和 r_2 的网络生命周期变化趋势相同.

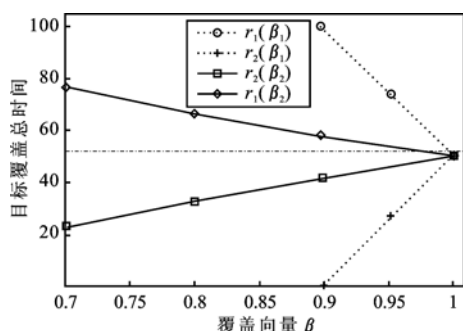


图 4 覆盖向量与覆盖时间关系图

由图 5 可以看出, 覆盖时间增加, 能耗随之增加, 覆盖时间以固定步长增长时, 能耗曲线呈线性增长趋势. 由三条曲线可以看出, 覆盖时间较短时, 能耗几乎相同, 随着覆盖时间增加, 不同机制算法节能效果不同, 单一机制算法的单位时间能耗变化率为 5.74、4.07, 而采用混合机制的能耗变化率为 1.04, 节能效果明显优于前者.

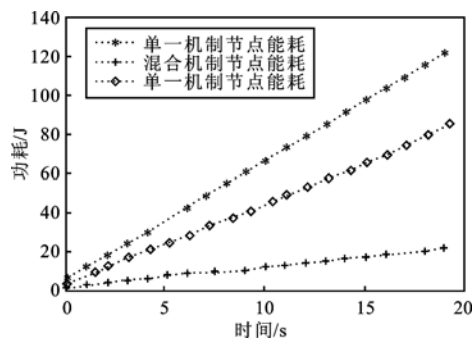


图 5 无线传感器节点功耗曲线

6 结束语

将部分覆盖算法与唤醒机制算法相结合, 利用

时间多项式算法对部分覆盖模型进行优化; 对传统的无线传感器网络覆盖模型进行改进, 优化节能过程, 降低能量损耗. 利用分治思想, 其中, 活跃节点采用部分覆盖机制对模型进行优化, 对时间多项式进行泛化求解, 把复杂的非线性规划问题进行简化, 得到更易求解的线性规划问题, 从而降低运算处理所带来的能量损耗. 非活跃节点采用唤醒机制, 根据监测目标需求进行合理调度, 有效减少节点在不必要条件下运算处理带来的能量损耗. 实验结果表明: 覆盖向量选取与网络生命周期存在相应关系, 即覆盖时间越长会导致网络生命周期的线性减小, 从而为节点调度过程中提供了参考依据, 也为最终的能耗降低、增加网络生命周期提供了有效保证; 实验数据及仿真图证明了混合机制算法对延长网络生命周期效果好于单一的算法.

参考文献:

- [1] 吴鹏程, 鲜晓东, 蔡章立, 等. 一种新型唤醒机制的无线传感器网络的节点设计[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(4): 80-84.
- [2] 彭丽英. 改进的蚁群算法网络节点覆盖优化研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(9): 151-153.
- [3] 卢丽鹏, 翟明岳, 孙晓达. 一种平衡无线传感器网络节点能耗的策略[J]. 南方电网技术, 2012, 6(5): 57-61.
- [4] LU Kezhong, LIU Yingling. Sampling based multi-coverage algorithm in wireless sensor networks [J]. Computer Engineering and Application, 2007, 43(17): 127-129.
- [5] Chengqun W, Jiming C. Wireless sensor networks location with isomer [C] // IEEE International Conference on Communications, Dresden: IEEE, 2009: 14-18.
- [6] Georgios L, Nicholas D S. A fast and effective multidimensional for node localization in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(10): 5121-5127.

作者简介:

郭 瑞 女, (1974-), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为电气传动系统自动化技术、现代传感技术及系统.

徐广璐 男, (1987-), 硕士研究生. 研究方向为电气传动系统自动化技术.