

文章编号: 2095—0411 (2014) 03 - 0018 - 06

基于 SVM 的 LEACH 分簇算法优化^{*}

朱红红¹, 朱正礼¹, 卢 欣¹, 侯迎坤²

(1. 南京林业大学 信息科学技术学院, 江苏 南京 210037; 2. 泰山学院 信息科学技术学院, 山东 泰安 271021)

摘要: 针对 LEACH 算法中簇首分布不均匀和每轮循环簇首数目未知的缺陷, 提出两方面的优化: ①基于 SVM 的优化, 即考虑节点的地理位置, 寻找支持向量并对网络进行区域划分, 改善簇首分布不均匀的缺陷。②改进 LEACH 算法的簇首选举机制, 即规定每轮循环的簇首数目, 改善 LEACH 算法中簇首数目未知的缺陷。最后对优化的 LEACH 算法进行实验, 实验结果表明, 优化后的算法能有效延长整个网络的生存周期, 降低网络能量消耗。

关键词: SVM; LEACH; 生存周期; 能量消耗

中图分类号: TP 393

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.2095—0411.2014.03.004

Optimization of LEACH Clustering Algorithm Based on SVM

ZHU Hong-hong¹, ZHU Zheng-li¹, LU Xin¹, HOU Ying-kun²

(1. College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Department of Information Science and Technology, Taishan University, Tai'an 271021, China)

Abstract: The uneven distribution of cluster-heads and the uncertainty of the number of cluster-heads in every loop cause defects in the LEACH algorithm. In this paper, the optimization from two different aspects based on the above problems is proposed. The first one is the optimization based on the SVM, that is, taking the location of the node into consideration and searching for supporting vectors to divide the wireless sensor network (WNS) into several zones, which can relieve the inefficiency caused by the unbalanced distribution of the cluster heads. The second one is to improve the cluster-heads selection mechanism in the LEACH algorithm, that is to say, solving inefficiency caused by the uncertainty of the number of cluster-heads in every loop through defining the number of cluster-heads in every single loop. From the analysis of the statistics and data collected from the simulation experiments of the improved LEACH algorithms, the conclusion can be drawn that the optimized algorithm can prolong the life cycle of WNS effectively as well as decrease the energy consumption of WNS obviously.

Key words: SVM; LEACH; lifetime; energy consumption

近年来, 由于无线通信、传感器、嵌入式计算等技术的飞速发展, 成本低、功耗低、体积小的传感器得以实现并应用。由这样的传感器节点通过无

线通信的方式形成一个多跳自组织网络系统称为无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN)。其主要目的是实时监测、感知、采集被覆

^{*} 收稿日期: 2014 - 04 - 12。

基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (61379015)。

作者简介: 朱红红 (1990—), 女, 江苏盐城人, 硕士生。通讯联系人: 朱正礼 (1966—), E-mail: haitian2001@163.com

盖区域里图像、温度、湿度等信息, 并以无线方式传送给用户^[1]。无线传感器网络对信息的采集可以在无人值守的情况下进行, 并且可以高速有效的传送数据, 实用性强、应用范围广, 在军事、森林防火、工业控制、医疗、农业和太空探索等领域都有巨大的应用价值。无线传感器网络作为一种新兴的概念和技术, 受到了人们的广泛关注。在无线传感器网络中, 传感器节点的体积一般都很小, 只携带能量有限的电池来维持自身的工作, 而且电池也不宜更换。因此无线传感器网络如何通过节点部署的方式来延长整个网络的生存时间, 减少能量消耗是一个重要的研究课题。

第 1 个提出的数据聚合的层次路由算法是 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH) 算法^[2], 该算法采用动态分簇, 每个节点以循环的方式随机担任每轮循环中的簇首, 簇首节点通过数据融合来处理簇内节点所传送来的信息, 将处理后的数据结果发送给基站, 以此减少基站收到的信息数量。但是 LEACH 算法提出的簇首选举机制没有考虑节点的具体地理位置, 不能保证簇首均匀地分布在网络中, 同时该机制无法确定每轮循环中簇首的个数。因此本文引入支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 技术, 考虑节点的具体地理位置, 进行区域划分, 改善 LEACH 算法中节点分布不均匀的缺陷, 同时改进簇首选举机制, 不再固定整个无线传感器网络中簇首所占的百分比, 而是随着死亡节点数目的增加, 改变该百分比。从这两方面改进 LEACH 算法, 达到延长无线传感器网络的生存周期, 降低能量消耗目的。实验结果显示, 与 LEACH 相比, 基于 SVM 技术的优化的改进算法具有更好的性能。

1 支持向量机

SVM 最初由 Vapnik 提出是数据挖掘中的一项新技术, 是借助于最优化方法解决及其学习问题的新工具^[3]。SVM 已在许多领域的实际问题中得以应用, 例如人脸检测、基因分类、函数回归估计、函数逼近、计算机入侵检测、遥感图象分析、数据挖掘、密度估计、文本过滤、时间序列预测及数据压缩、非线性系统控制等。本文主要引入 SVM 在函数回归估计问题中的应用方法, 即支持向量回归机 (Support Vector Regression, SVR)。

SVM 本身是针对经典的二分类问题提出的,

SVR 则是支持向量机在函数回归领域的应用。SVR 的样本点只有一类, 所寻找的是使所有样本距离超平面的“总偏差”最小, 而不是使两类样本点分得“最开”。SVR 具有稀疏性, 即可以用少量的支持向量 (Support Vector, SV) 来表示决策函数。在 SVR 中最常用 ϵ -不敏感损失函数来保持稀疏性:

$$c(x, y, f(x)) = |y - f(x)|_{\epsilon} \quad (1)$$

式中:

$$|y - f(x)|_{\epsilon} = \max \{0, |y - f(x)| - \epsilon\} \quad (2)$$

上述公式中的 ϵ 是提前取好的一个正数。 ϵ -不敏感损失函数所表达的意思是, 当 x 点处的观察值 y 与预测值 $f(x)$ 之间的差值的绝对值不超过提前取好的 ϵ 值时, 则认为在 x 点处的 $f(x)$ 是没有损失的, 虽然 $f(x)$ 并不完全等于 y 。图 1 为损失函数的图像。

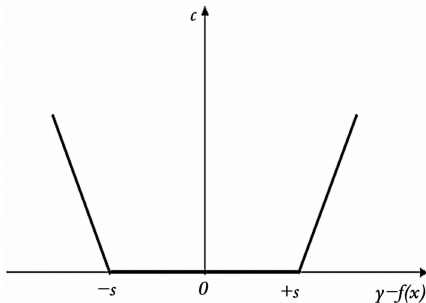


图 1 损失函数

Fig. 1 Loss function

假设 $f(x)$ 为关于 x 变量的线性函数:

$$f(x) = (\omega \cdot x) + b \quad (3)$$

当样本中的点处于两条虚线间隔内时, 则认为在该点处没有损失, 如图 2。通常把图中两条虚线所构成的区域成为 ϵ -带。只有当样本中的点 (\bar{x}, \bar{y}) 位于这个区域外时, 才会出现损失。例如图 2 中的 (\bar{x}, \bar{y}) 处的损失为:

$$\zeta = \bar{y} - f(\bar{x}) - \epsilon \quad (4)$$

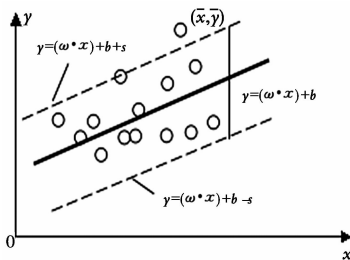


图 2 SVR 的损失模型

Fig. 2 Loss model of SVR

ϵ -不敏感损失函数有一个特点: 对于样本点来说, 存在一个区域即不为目标函数提供任何损失值的地带, 称为 ϵ -带。 ϵ -不敏感损失函数的这一特点是其他许多损失函数 (如平方损失函数等) 所不具备。

在无线传感器网络中节点分布范围广泛, 有些节点可能会在监测区域外, 此时该节点所监测到的数据并不准确, 而且有可能是没有用处的信息数据, 这时该节点是不需要的, 可以舍弃的传感器节点。但该节点仍会在簇内出现, 簇首仍需要接收该节点所传送的信息并加以处理传送到基站, 这时簇首所消耗的能量则是不必要的。对于无线传感器网络中的这样的节点, 可以利用 SVR 的 ϵ -带将那些不在带内的节点舍弃, 即不需要接收由这些节点所传送的信息, 且这些节点不能作为簇首节点, 这样可以避免网络中由于这些节点所带来的不必要的能量消耗。假设无线传感器网络监测区域内的传感器节点的分布满足 $\text{Node}.x$ 在区间 $[-10, 10]$ 上的函数^[3]:

$$\text{Node}.y = \text{sinc}(\text{Node}.x) = \frac{\sin(\text{Node}.y)}{\text{Node}.x} \quad (5)$$

要获取无线传感器网络内属于支持向量的节点, 则需要通过该函数构造近似函数, 通过函数逼近来取得这些支持向量点, 构造算法如下:

1) 对于给定的训练集

$$N = \{ ((\text{Node}.x)_1, (\text{Node}.y)_1) \cdots ((\text{Node}.x)_n, (\text{Node}.y)_n) \} \in (X \times Y)^n$$

式中, $(\text{Node}.x)_i \in X = R^n$,

$(\text{Node}.y)_i \in Y = R$, $i = 1 \cdots n$;

2) 选取合适的精度参数 ϵ 和核参数

$K((\text{Node}.x), (\text{Node}.x)')$

3) 构造并且求解最优化问题

$$\min_{\alpha^{(*)} \in R^{2n}} \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i^* - \alpha_i)(\alpha_j^* - \alpha_j) K((\text{Node}.x)_i, (\text{Node}.x)_j) + \epsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i^* + \alpha_i) - \sum_{i=1}^n y_i (\alpha_i^* - \alpha_i) \quad (6)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \quad (7)$$

$$\alpha_i, \alpha_i^* \geq 0, i = 1, 2 \cdots n \quad (8)$$

得最优解 $\bar{\alpha}^{(*)} = (\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_1^* \cdots \bar{\alpha}_n, \bar{\alpha}_n^*)^T$;

4) 选择 $\bar{\alpha}$ 的正分量 $\bar{\alpha}_j > 0$ 计算; 也可以选择 $\bar{\alpha}^*$ 的正分量 $\bar{\alpha}_j^* > 0$ 计算:

$$\bar{b} = (\text{Node}.y)_j - \sum_{i=1}^n (\bar{\alpha}_i^* - \bar{\alpha}_i) K((\text{Node}.x)_i, (\text{Node}.x)_j) - \epsilon \quad (9)$$

5) 构造决策函数

$$f((\text{Node}.x)) = \sum_{i=1}^n (\bar{\alpha}_i - \bar{\alpha}_i^*) K((\text{Node}.x)_i, (\text{Node}.x)) + \bar{b} \quad (10)$$

通过上述算法构造近似函数, 核函数采用线性核且核参数 k 为 0.05, 精度参数 ϵ 为 0.2, 惩罚参数 C 为 100.0 (参数 k 、 ϵ 、 C 的值是通过多次试验选取的, 所得的支持向量可将无线传感器网络分割在 5~10 个区域内), 节点数为 100 个, 得到如图 3 所示的 ϵ -带超曲面和支持向量。在两条实线中间的区域是 ϵ -带超曲面, 节点只有落在该曲面内才是有效的节点, 如果在该曲面区域外就作为无效节点被舍弃。圆圈点表示该点是支持向量, 这样的点将作为无线传感器网络区域划分的标志。

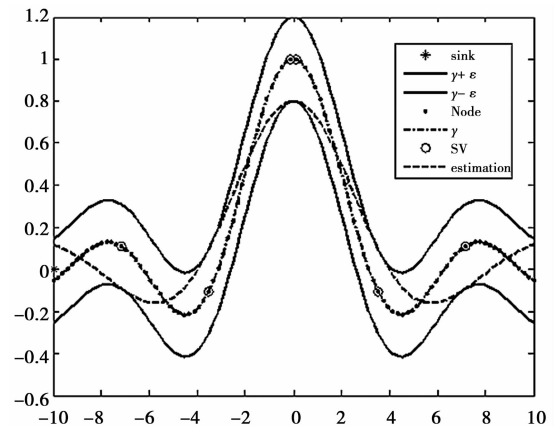


图 3 ϵ -带超曲面和支持向量

Fig. 3 Hypersurfaces in ϵ -band and support vector

2 基于 SVM 的 LEACH 算法优化

2.1 LEACH 算法

LEACH 算法是一种自适应分簇拓扑算法, 它定义了“轮 (round)”的概念表示每个簇的循环重构, 并按照“轮”周期性的执行, 每轮循环分为两个阶段, 分别是簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段。簇的建立阶段中, 网络中所有的节点以循环随机的方式作为簇首节点, 其他普通节点以就近原则向簇首传送信息, 加入相应的簇; 数据通信阶段中, 每个簇内成员把数据发送给所在簇的簇首, 簇首将接收到的数据进行融合处理, 将结果发送给基站^[4]。

LEACH 算法选举簇首的过程: 某个节点 n 产

生一个 0~1 之间的随机数, 如果产生的这个随机数小于阈值 $F(n)$, 则该节点成为簇首, 并发布公告消息。在下一轮循环中, 由于该节点已当选过簇首, 为了避免该节点再次当选为簇首, 把其 $F(n)$ 值设为 0。节点如果没有当选过簇首, 则其当选为簇首的概率为 $F(n)$; 当选过簇首的节点数目越来越多时, 剩余节点被选为簇首 $F(n)$ 的值也越来越大, 节点产生的随机数小于 $F(n)$ 的概率也随之增大, 因此节点被选为簇首的概率增大。如果只剩下一个节点没有当选过簇首, 则 $F(n)=1$, 表示该节点一定被选为簇首。 $F(n)$ 表示如下:

$$F(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \times [R \bmod (1/p)]}, & n \in S \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (11)$$

式中: p —簇首数在网络中节点总数所占的百分比; S —此轮中没有当选过簇首节点的节点的集合; R —选举轮数。

节点被选为簇首后, 给其他节点发布消息告知自己是新的簇首。非簇首节点根据自身与簇首节点间的距离来选择加入哪个簇, 同时发送消息告知该簇首。当簇首节点不再接收到其他节点发送来的加入信息后, 就会产生一个 TDMA (Time Division Multiple Access, 时分多址) 定时消息通知自己簇中的节点。为了避免其他簇的信号干扰, 簇首可以决定自己簇中所有节点所用的 CDMA (Code Division Multiple Access, 码分多址) 编码, 用于现阶段的编码与 TDMA 定时一起发送。当簇内节点接收到该消息后, 这些节点就开始在自己的时间槽内发送数据, 如果暂时没有需要发送的数据, 可以通过关闭通信模块来达到节省能量的效果。经过一段时间的数据传输后, 簇首节点收齐簇内所有节点发来的数据进行数据融合, 并把数据处理后的结果发送给汇聚节点。由于汇聚节点一般离监测区域比较远, 因此簇首节点的责任比较重大, 其能量消耗也很大, 所以节点不宜长时间担当簇首。

2.2 改进的 LEACH 算法

LEACH 算法中簇首在所有节点中占的百分比是定值, 该值的不变性使得每轮循环所产生的簇首数目变成一个未知数。同时随着网络生存时间的加长和死亡节点数目的增加, 簇首数目会逐渐减少。簇首数目的不确定性也会给整个网络带来不必要的能量消耗。根据以上 LEACH 算法的不足, 本文

提出了改进簇首节点的竞选机制的方法来。

改进簇首节点的竞选机制使得每轮循环所得的簇首数目为定值。在公式 (12) 中说明了 p 为簇首数占网络中节点总数的百分比, 在算法应用中 p 是一个重要的存在, 它规定了该算法中簇首节点的数目。假设有某区域内有 100 个节点, 每个簇节点数目分布均匀, p 为 0.1, 则该网络中首轮有 10 个簇首, 则每个簇内有 9 个普通节点。当该网络经过若干次循环后存活节点剩余 50 个时, 此轮循环产生的簇首为 5 个, 则每个簇内仍有 9 个普通节点。随着存活节点的减少, 簇内成员数目没有减少, 簇首的能量消耗没有改变, 簇首的能量消耗高于一般节点, 这些能量消耗都是不必要的开销。

若该区域内每轮循环中簇首数目不变, 即每轮有 10 个簇首。当剩余 50 个节点时, 簇首数仍为 10 个, 但每个簇内只有 4 个节点, 这样每个簇首对应的节点数目减少, 则簇首的能量消耗必定随之减少。因此设想整个无线传感器网络中簇首数目为一个固定值, 随着循环次数的增加, 簇首数目不变, 但每个簇内的成员总个数都在发生相应的变化。同时, 在存活节点个数减少的同时, 簇首所需处理的信息量也随之减少, 这样就减少了簇首节点的能量消耗, 延长了网络的生存周期。

基于上述理论所提出的改进后的算法簇首的具体选择方法为: 改进后的 \bar{p} 值随着节点存活个数的减少而改变, 但不改变每轮循环所需要的簇首节点的个数。假设无线传感器网络中节点综述为 n , 第一轮循环所需的簇首数目为 $\text{cluster_}n$, 则初始的 \bar{p} 值为:

$$\bar{p} = \frac{\text{cluster_}n}{n} \quad (12)$$

随着循环轮数的增加, 节点也因为能量的耗尽而死亡, 假设死亡个数为 $\text{dead_}n$, 此时的 \bar{p} 值为:

$$\bar{p} = \frac{\text{cluster_}n}{n - \text{dead_}n} \quad (13)$$

当生存节点 $n - \text{dead_}n < \text{cluster_}n$ 时, 此时剩余的节点都作为簇首, 则相应的 \bar{p} 值为:

$$\bar{p} = 1 \quad (14)$$

即每个存活的节点在接下来的每轮循环都作为簇首节点, 每个节点为一个簇, 并且无需等待其他节点请求加入的信息, 这样这段时间就避免了网络中的频繁分簇。分簇的过程中所消耗的能量对整个无线传感器网络来说是一种额外消耗, 这样避免分簇也

减少了网络中的能量消耗。

改进的 LEACH 算法的簇首选举机制为: 传感器节点随机产生一个值, 该值在 0~1 之间, 假如阈值 $F(n)$ 大于该数, 则产生这个值的节点为该轮选出的簇首节点, 如下式:

$$F(n) = \begin{cases} \frac{\bar{p}}{1 - \bar{p} \times [R \bmod (1/\bar{p})]}, & n \in S \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (15)$$

式中: \bar{p} —式 (13) 中的值, 簇首在所有节点中所占的百分比。

2.3 基于 SVM 的 LEACH 算法优化

LEACH 算法可以保证网络内每个节点以相等的概率去担任簇首, 相对均衡了整个网络中节点的能量消耗。但是这种随机选举没有考虑节点所在地理位置, 其产生的簇首节点很可能集中分布在某一区域, 而其他区域没有簇首节点, 这样节点加入相应的簇内, 距离较远的节点就会因为向簇首传送信息而大量消耗能量, 而这种能量消耗对于网络来说是一种额外开销。针对上述缺点以及 SVM 的应用, 本文提出在改进的 LEACH 算法中引入 SVM, 考虑节点的地理位置, 利用支持向量对无线传感器网络进行区域划分, 每个区域内进行选举时至少会产生一个簇首, 可以避免改进的 LEACH 算法选举产生某区域内没有簇首的问题, 达到延长网络的生命周期, 降低能量消耗的目的。

基于 SVM 的改进的 LEACH 算法为: ①初始化 n 个传感器节点, 即随机产生每个节点的位置 (Node. x , Node. y) 和能量 E_0 ; ②通过 SVM 选取属于支持向量的节点; ③根据支持向量节点的 Node. x 划分区域, 每个区域作为一个整体; ④在每个区域内应用改进的 LEACH 算法, 每轮循环中簇首节点的选举机制为式 (16), 每轮产生的簇首总数为 cluster_ n , 节点被选为簇首后, 给其他节点发布消息告知自己是新的簇首; ⑤非簇首节点根据自身与簇首节点间的距离来选择加入哪个簇, 同时发送消息告知该簇首; ⑥若区域内生存节点总数大于 cluster_ n , 则返回④继续; 否则区域内所有的节点都作为簇首节点, 不再进行选举分簇; ⑦网络稳定运行。

基于 SVM 的改进的 LEACH 算法的节点分布如图 4 所示, “*” 表示监测区域的基站, 黑点表示各个传感器节点。竖线表示无线传感器网络区域

划分的标志, 每条竖线都是以支持向量为依据, 两条竖线之间的区域为一个整体。每个区域内的用改进的 LEACH 算法监测并向基站提供信息。

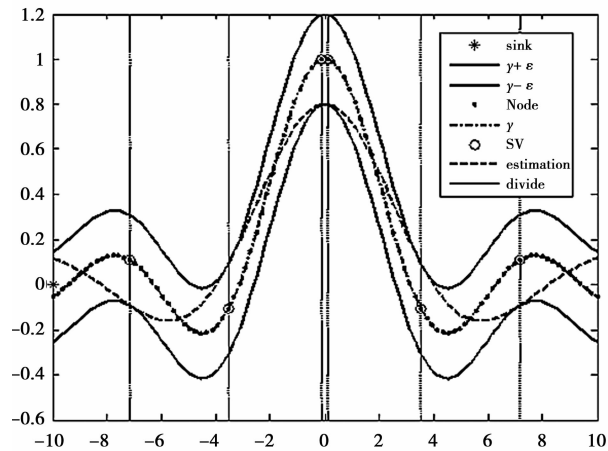


图 4 节点分布

Fig. 4 The Distribution of Nodes

3 实验与分析

3.1 实验环境

在 $x \in [-10, 10]$, y 满足式 (5) 的区域内, 随机分布 100 个传感器节点和一个固定位置的基站节点。初始能量为 0.5J, 高能量节点超出一般节点能量的百分比 $a^{[5]}$ 为 1, 则无线传感器网络中节点的初始能量为 E_0 的 $(1 + \text{rand} \cdot a)$ 倍, 簇首节点数目设置为 15 个 (即 $p=0.15$), 数据长度为 4 000bit, 循环轮数为 5 000。SVM 中采用线性核, 核参数 k 为 0.05, 惩罚参数 C 为 100.0, 精度参数 ϵ 为 0.2。实验采用 MATLAB7.0 进行, 将基于 SVM 的改进的 LEACH 算法与 LEACH 算法、改进的 LEACH 算法进行对比, 分别从死亡节点数和网络能量消耗这两方面进行对比。

3.2 基站位置的选取

由于无线传感器网络中节点的分布是满足某个函数曲线, 实验中基站的位置选取相对比较困难, 因此采用欧氏距离选取最优基站, 即使所有节点到达基站的距离之和最短。

在二维空间里欧氏距离是指两点间的直线段距离。例如二维空间里有两个点, 分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 则它们之间的欧氏距离为:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (16)$$

将式 (16) 应用到无线传感器网络中, 基站位

置为 $(\text{sink}.x, \text{sink}.y)$, n 个节点的坐标分别为 $((\text{Node}.x)_1, (\text{Node}.y)_1), ((\text{Node}.x)_2, (\text{Node}.y)_2) \cdots ((\text{Node}.x)_n, (\text{Node}.y)_n)$, 则他们之间的欧氏距离为:

$$d = \sqrt{((\text{Node}.x)_1 - \text{sink}.x)^2 + ((\text{Node}.y)_1 - \text{sink}.y)^2} + \sqrt{((\text{Node}.x)_2 - \text{sink}.x)^2 + ((\text{Node}.y)_2 - \text{sink}.y)^2} + \cdots + \sqrt{((\text{Node}.x)_n - \text{sink}.x)^2 + ((\text{Node}.y)_n - \text{sink}.y)^2} \quad (17)$$

基站在区域内取不同的点则 d 的值也不同, 通过对各个 d 值的比较, 选取最小的 d 值所对应的基站 $(\text{sink}.x, \text{sink}.y)$, 此时的基站是最优的。

3.3 实验结果

图 5 是检测相应轮数死亡节点的个数, 图中显示 LEACH 算法在第 1 230 轮附近的时候, 出现第一个死亡节点, 改进的 LEACH 算法第一个死亡节点出现在 1 240 轮附近, 基于 SVM 的改进的 LEACH 算法第一个死亡节点出现在第 2 500 轮附近。LEACH 算法在第 3 100 轮左右, 节点全部死亡, 改进的 LEACH 算法在第 3 200 轮左右, 节点全部死亡, 而基于 SVM 的改进的 LEACH 算法在第 3 100 或 3 200 轮左右处还有大量节点存活。由此说明, 基于 SVM 的改进的 LEACH 算法可有效避免节点过早死亡, 达到延长整个网络生存周期的目的。

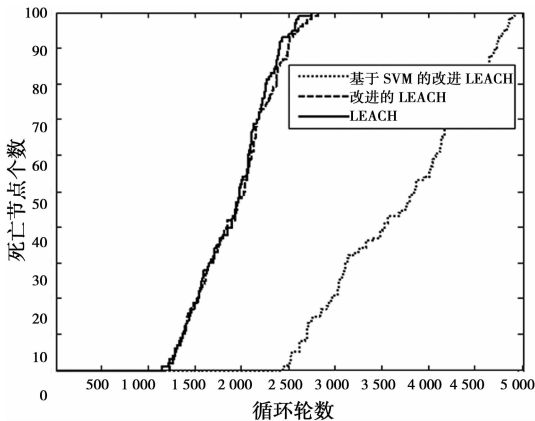


图 5 节点死亡数对比

Fig. 5 Contrast of the Number of Deaths

图 6 是能量消耗情况比较, 从图中可以看出, 在相同的初始能量下, 基于 SVM 的改进的 LEACH 算法中网络的能量消耗低于 LEACH 算法和改进的 LEACH 算法, 可以降低整个网络的能量消耗, 这是因为基于 SVM 的改进的 LEACH 算

法相比 LEACH 算法有两方面的改进: ①加入了 SVM, 对网络的区域划分改善簇首分布不均匀, 优化了 LEACH 算法; ②对簇首选举机制的改进, 每轮循环所得的簇首数已知, 改进了 LEACH 算法。因此相较于 LEACH 算法, 更有利于降低网络的能量消耗。

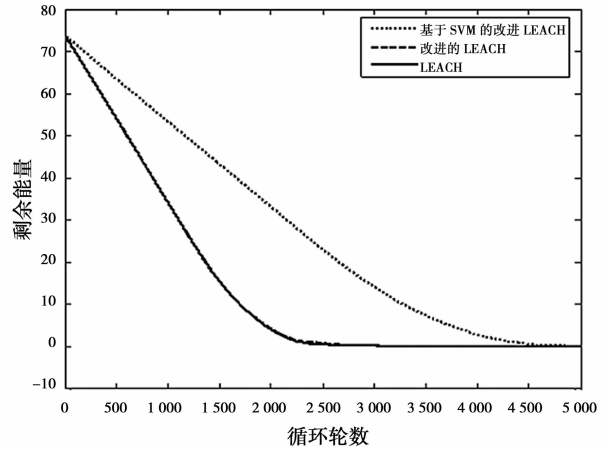


图 6 网络剩余能量对比

Fig. 6 Contrast of Residual Energy

4 结 论

本文在无线传感器网络节点部署的 LEACH 算法上进行了两方面改进: ①SVM 对 LEACH 算法的优化。针对 LEACH 算法中忽略节点的地理位置, 簇首分布不均匀, 引用 SVM 对无线传感器网络进行区域划分, 使得每个区域内能都有簇首, 改善簇首分布不均匀的问题; ②改进了簇首竞争机制, 规定了每轮循环所产生的簇首数, 改进了 LEACH 算法中簇首数目未知的缺陷。因此使得基于 SVM 的改进的 LEACH 算法有效地延长了网络的生存周期, 降低了网络的能量消耗。

参考文献:

- [1] 王雪. 无线传感器网络测量系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 罗冰, 黄玉清. 一种 LEACH 协议的多级分簇改进算法 [J]. 计算机工程, 2013, 39 (6): 99 - 102.
- [3] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中的新方法——支持向量机 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 郭文强, 周强, 侯勇严, 等. 一种基于无线传感器网络分簇路由的改进算法 [J]. 陕西科技大学学报 (自然科学版), 2013, 31 (2): 132 - 135, 141.