

· CWSN 2016 推荐论文 ·

DOI: 10.15961/j.jsuese.201601189

基于均值滤波的大规模无线传感网能耗及 海量数据去冗余方法研究

蒋鹏, 李勇鹏, 吴锋, 余善恩, 许欢

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:随着无线传感网络结构日趋复杂及逐渐朝大规模方向转变。科学、高效地解决传感网内的海量数据冗余及巨大能量消耗问题变得十分困难, 本文通过对节点数据图像化建模, 提出了一种基于节点数据图像的均值滤波算法来达到降低大规模无线传感网中的冗余数据量及能量消耗。首先从传感网的部署结构出发, 通过节点之间的位置关系进行节点分簇并标记簇头节点, 然后依据各簇内节点获取的数据信息进行图像化建模, 建模完成后以各簇簇头节点获取的数据为参照标准对图像化后的簇内节点进行均值滤波, 从而将簇内节点划分为活跃节点与休眠节点, 活跃节点为传感网提供有效数据而休眠节点提供冗余数据, 需要进入休眠状态。从仿真结果可知: 在实际数据集与模拟数据集结合验证下, 一个大规模、结构复杂的无线传感网被分为若干个簇并有效的完成了各簇内的节点数据图像化建模。在整体数据有效且不失真的前提下, 各簇内实现了将可能存在的部分节点转化为休眠节点且成功将休眠节点转为休眠状态, 不再产生、传递数据, 从而降低传感网内的整体数据量及数据传递消耗的能量。因此本文提出的算法能够有效地处理规模大、结构复杂的无线传感网中存在的数据冗余及巨大能量消耗问题, 通过该算法不仅降低了无线传感网中的冗余数据量, 而且降低了无线传感网的能量消耗, 提高了无线传感网的生命周期。

关键词:无线传感网; 节点数据图像; 均值滤波; 海量冗余数据

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 2096-3246(2017)02-0145-07

Research on Energy Consumption and Eliminate of Large Data Redundancy Method for Large Scale Wireless Sensor Networks Based on Mean Filter

JIANG Peng, LI Yongpeng, WU Feng, YU Shan'en, XU Huan

(College of Automation, Hangzhou Dianzi Univ., Hangzhou 310018, China)

Abstract: With the increasing complexity and gradual shift to the large scale data of the wireless sensor networks (WSNs), it is very difficult to solve the problem of massive data redundancy and huge energy consumption in sensor networks effectively. Therefore, a mean value filtering algorithm based on graphical node data was proposed to reduce the data redundancy and energy consumption in large-scale WSNs. Firstly, the nodes were clustered and the clustered head nodes were labelled exploiting the relationship of node locations on the basis of the whole deployment topology of the sensor networks. Secondly, the graphical model process was conducted based on the data information from the nodes in each cluster. Then, the mean value filtering was applied to each graphical cluster node by taking the data acquired by its corresponding cluster head node as the reference. Lately, all the cluster nodes were divided into active nodes and sleep nodes. While the data from the active nodes was valid, the data from the sleep nodes was redundant, which will be kept inactive. Simulation results showed that the large-scale and complex WSNs can be divided into several clusters and the graphical modelling of the data from each cluster node can be effectively achieved by the joint verification of the real and simulated data sets. On the premise of the whole data was valid and had no distortion, it were achieved that some nodes in each cluster were regarded as sleep nodes and their states were changed to inactive. Then there was no data produced by or transmitted from sleep nodes, which reduced not only the amount of the whole data in sensor networks but also the energy consumption in the data transmitting. In conclusion, the algorithm proposed in

收稿日期: 2016-10-26

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0201400); 国家自然科学基金面上项目资助(61273072); 浙江省科技厅省重点研发计划资助项目(2016C03G2040707); NSFC-浙江两化融合联合重点基金资助项目(U1509217)

作者简介: 蒋鹏(1975—), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 信息物理融合系统; 无线传感器网络; 嵌入式系统及其应用等. E-mail: pjiang@hdu.edu.cn

this paper can effectively solve the problem of massive data redundancy and huge energy consumption in large-scale and complex sensor networks. With the proposed algorithm the redundant data and energy consumption were decreased and the network lifetime was prolonged for WSNs.

Key words: wireless sensor networks; node data image; mean filter; massive redundant data

在物联网快速发展及近几年“互联网+”概念的提出后,无线传感网技术再次得到了快速的发展。越来越多的传感器进入了人们的生活中,如温度传感器、湿度传感器、气体检测传感器等等。这些大量部署在检测区域内的微传感器,采取协作的方式进行实时的监测、感知和采集各种环境下的信息,根据甲骨文报告^[1],由无线传感网及其相关设备产生的数据信息将达到千兆兆字节,这些信息包括数字、文本、图片、视频等,不仅体量巨大,数据类型繁多,价值密度低且商业价值高^[2],当前环境下的无线传感网逐渐趋向大规模海量数据型转变。由于传感节点状态不稳定部分节点容易失效,无线传感网在工作时需要进行节点的冗余设计,然而在大规模无线传感网中这些冗余设计的节点在汇聚数据时将带来巨量的冗余数据^[3-4]。因此在面对这样一个复杂及拥有庞大冗余数据信息的无线传感网络,节点产生或传输这些信息将要消耗大量的能量。那么节点极易因能量耗尽而无法工作,从而造成网络拓扑结构的变化和网络性能的恶化,最终导致网络分裂和瘫痪。因此,能耗及数据冗余问题已成为无线通信系统设计中不可忽略的一个因素,也是无线传感网发展过程中面临的一大难题,相对于结构简单、数据量小的无线传感网络,大规模无线传感网的出现使得这一问题更加严峻,如何处理好大规模无线传感网的能耗及数据冗余问题已成为一个全新的研究领域。

近年来,在传感网能耗及数据处理问题上一些学者已经开展了相关研究工作。在能耗问题上学者们进行了如下研究。Manikandan 等^[5]描述了 3 种重要算法(LEACH、PEGASIS、KOCA)在降低传感网能耗时的具体的实现过程,该文分别对以上算法进行传感网能耗的验证再进行综合对比各自的优缺点。以上算法在一定程度上达到了降低能耗的目标,但面对大规模无线传感网络将有所限制。Takaishi 等^[6]根据分布式传感网中大数据量的数据采集,提出了利用 Sink 节点的移动性促进数据收集,通过 Sink 节点的移动降低通信距离,从而降低信息传输的能量消耗,然而该算法适用处理结构简单的无线传感网,结构复杂的无线传感网的 Sink 节点的移动也将消耗大量能量。杨菲等^[7]提出了一种基

于回归的能源有效大数据流汇聚算法,该算法将传感器节点分为活跃节点和能源有效节点,然后以活跃节点为中心点将所有节点进行聚类,并应用回归方法通过活跃节点的数据流对能源有效节点的数据进行预测,但在数据处理过程中过于复杂且未考虑如何减少无线传感网中的冗余数据量。同样,在无线传感网数据处理的问题上学者们进行了如下研究。Rios 等^[8]提出应用一个整合大数据工具(在静止和运动中)Hadoop,用于收集、存储和监测空气污染的无线传感器网络所产生的数据。该研究与实际应用相结合,有效地实现了对传感网采集到的数据进行分析处理,但 Hadoop 工具对硬件条件要求过高,实际应用具有一定的局限性。Bergelt 等^[9]提出数据聚合策略应用于传感网的数据处理,然而该算法未考虑结合传感网内的能耗问题,同时在实际应用中不能帮助提炼出有价值的信息。Wu 等^[10]提出无线传感网中一种图像结构相似度(SFDC)的处理方法,根据节点的结构与目标结构的相似度来划分出活跃节点与休眠节点,但该方法未考虑时间的相关性作用,对结构复杂的无线传感网则不易进行相似度分析。

综上所述,现有算法普遍适用于规模小、数据量小的无线传感器网络,对大规模无线传感网的能耗及数据冗余问题的研究具有局限性。为此本文提出了一种基于节点数据图像的均值滤波(mean filtering of node data image, MFNDI)算法,该算法以图像处理中的均值滤波算法为基础,通过对节点采集的数据进行图像化的建模来实现对结构复杂的无线传感网数据冗余问题进行研究。该研究提出新颖的节点数据图像化的概念为问题的解决提供了新的思路。

1 算法的模型与定义

1.1 节点数据图像化与均值模型的构建

面对大规模无线传感网产生的海量数据,本文通过对这些数据进行图像化建模得到节点数据图像来简化问题的研究。节点的数据图像化过程是依据无线传感网节点获取的信息绘制 2 维图像的过程。无线传感网中可能包含各类数据(数字、文本、图

片、视频等),本文将随机选取其中的两类标量数据进行图像化建模,其他类型的数据信息将在此模型的基础上通过滤除冗余节点的方式滤除。在图像化建模的过程中描述每个节点的像素点称为节点像素点,其他不同于节点像素点的统称为非节点像素点。节点像素点的横坐标和纵坐标分别为同一时间内该节点获取的数据1与数据2的值,用 x_i 与 y_i 表示。假设有图像 $V(m \times n)$,其中, $P_{(x,y)}$ 代表一个节点。通过以上建模可以得到节点经过图像化后的节点数据图像。在图像中存在两类像素点,节点像素点与非节点像素点。如图1所示,黑点为节点像素点空白区域则由非节点像素点组成。

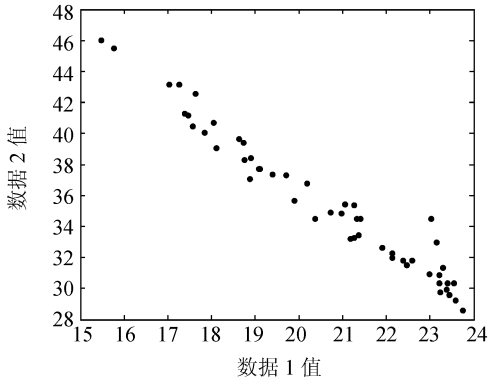


图1 节点数据图像($V(m \times n)$)

Fig.1 Node data image($V(m \times n)$)

均值模型在节点数据图像中的构建,其主要内容是依据数字图像中的均值滤波算法。对于某一个像素点来说,如果它与周围的像素点相比有明显不同就认为该点被噪声污染,在数字图像中使用均值滤波的方法去除图像中的该类噪声^[11-12]。令 S_{xy} 为中心在点 (x,y) 、大小是 $m \times n$ 的矩形子窗口的一组坐标集,均值滤波器在定义的区域中计算被噪声污染的图像平均值 \hat{f} 可由式(1)求得:

$$\hat{f} = \frac{1}{mn} \sum_{(x,y) \in S_{xy}} g(x,y) \quad (1)$$

均值滤波的核心是通过一点与邻域内像素点求平均来去除突变的像素点,从而滤除邻域内存在的噪声,在式(1)中 $g(x,y)$ 为数据邻域。在节点数据图像中依据数字图像去除噪声的方法,提出了基于节点数据图像的均值模型。模型中假设节点像素点集合为对应数字图像中需要滤波的像素点集合,无线传感网的冗余设计为噪声。则在该模型的基础上应用算法实现去除节点数据图像内的噪声即达到去除无线传感网冗余数据的目的。

1.2 定义

在节点数据图像的均值模型中,节点数据的均

值定义为图像横纵坐标数据域的均值,即节点数据图像 x 与 y 轴数据域的均值。则由式(1)得:

$$Ave_x = \frac{1}{M_x} \sum D(x) \quad (2)$$

$$Ave_y = \frac{1}{M_y} \sum D(y) \quad (3)$$

式中, M_x, M_y 分别为 x, y 轴数据总个数, $D(x), D(y)$ 为 x, y 轴数据域。

定义1(节点像素点间距离) 在数字图像中欧氏距离可以直观的表达点与点间的位置关系。在节点数据图像中,欧氏距离同样适用,令 d_{12} 为节点间的距离,节点1的坐标 (x_1, y_1) ,节点2的坐标 (x_2, y_2) 。则节点像素点间距离表示为:

$$d_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4)$$

定义2(数据圆) 用来包含节点像素点的圆定义为数据圆,式(2)、(3)中所得值为数据圆的圆心 (Ave_x, Ave_y) ,数据圆的半径在算法实现过程中处于一个动态改变的过程,其中存在一个临界值。临界时的数据圆是恰好能够包含所有节点像素点的圆,此时圆的半径为最大半径。

定义3(保真度) 保真度是数据圆内节点像素点的数据均值接近整体数据均值的程度(Pro)。保真度将数据失真这一抽象的概念通过数值直观的表达了出来。数学含义如下:

$$Pro = \frac{\frac{1}{m} \sum_1^m D(k)}{Ave_k} \quad (5)$$

式中, $Pro \in (0, 1]$, $D(k)$ 为数据圆内的数据域, Ave_k 为式(2)或式(3)的值, m 为数据个数。

2 节点分簇与算法描述

本文的研究分为2个阶段:无线传感网的节点分簇和簇内数据处理。在第1阶段,旨在对产生数据的节点进行集群构建与分簇处理。第2阶段,将对节点数据图像化建模及运用MFNDI算法对图像进行滤波处理。

2.1 图节点集群的构建与分簇

将部署区域内所有节点按实际地理位置关系构建节点集群,得到节点集群 $U(m \times n)$ 。使用k-medoids算法对集群进行分簇,该算法是大数据处理中的常用的算法,也应用于对无线传感网的节点进行分簇处理^[13]。算法确定簇头节点过程如图2所示。

k-medoids 聚类算法描述如下:

算法1 k-medoids 聚类算法

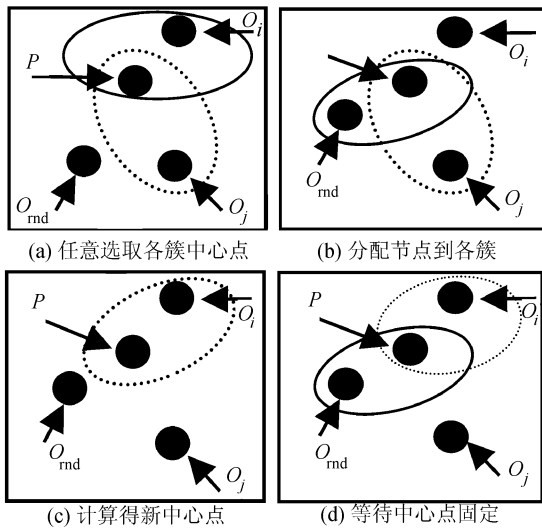


图 2 k-medoids 算法寻找中心点

Fig. 2 Algorithm of k-medoids to find the center point

输入: 簇的总数 k , $U(m \times n)$ 中包含 n 个对象的数据集 S_n ;

输出: k 个最优簇集合 S_k ;

步骤 1: 对数据集 S_n 进行处理, 从中随机选择 k 个对象作为原始中心点, 记为 O_i ;

步骤 2: 余下对象划给离对象最近的中心点所代表的簇;

步骤 3: 随机选择一个非代表对象 O_{mnd} ;

步骤 4: 计算用 O_{mnd} 代替中心点 O_i 的总代价 ΔE , 如果 ΔE 为负, 则可用 O_{mnd} 代替 O_i , 形成新的中心点;

步骤 5: 重复执行步骤 3 ~ 4, 直到簇集合中对象不再发生改变, 结束算法得到 $U'(m \times n)$ 。

算法 1 中将构建的集群 $U(m \times n)$ 分成一个包含 k 个簇的集群 $U'(m \times n)$, 在每个簇中算法选取当前簇中的一个到其他所有点的距离之和最小的点即中心点作为簇头节点。因为无线传感网中节点的部署情况对节点采集的数据具有影响即相邻节点间的数据存在相似性的特点, 所以簇中围绕该簇头节点的其他节点采集到的数据具有相似性。

2.2 MFNDI 算法的实现步骤

集群构建与分簇完成后, 运用 MFNDI 算法进行簇内的数据分析。将构建的集群分为 k 个簇, 单独对每个簇内的数据进行图像化建模, 随机选取簇内采集的两类标量信息, 依据节点数据图像的定义, 这两类信息将作为节点像素点的坐标信息。建模后的簇内节点将为节点数据图像中的节点像素点。MFNDI 算法通过对节点数据图像的滤波处理找出可能存在的冗余设计。首先, 每一节点数据图像作为一个邻域, 计算该邻域的邻域均值; 最后, 再依据节点数据

图像中节点像素点的个数动态决定数据圆的最小搜索半径 R , 这样可以保证在领域内节点像素点个数不同的情况下, 搜索能覆盖大多数节点, 确保数据达到最高的保真度。算法执行过程中搜索半径不断的变化直到保真度 Pro 无限接近 1 时停止变化, 获取此时半径对应的数据圆及对应数据圆内的数据保真度 Pro 。通过对该数据圆与保真度的分析, 存在数据圆内的节点采集回的数据与原整个节点数据图像内采集回的数据无限接近, 则该节点为其节点数据图像对应的簇提供有效数据。数据圆外的节点为该无线传感网的冗余设计, 数据为冗余数据。该类节点可以设定为休眠模式, 无线传感网不获取也不传输该类节点数据。MFNDI 具体算法详细过程如下:

算法 2 MFNDI 算法

输入: 各簇的节点数据集 S ;

输出: 休眠节点个数 m ;

步骤 1: 计算数据集的大小 ($m \times n$), 画出节点数据图像 $V(m \times n)$;

步骤 2: 计算圆心点 (Ave_x, Ave_y) 及所有点到圆心点的距离, 其中最大距离为 $LargR$;

步骤 3: 初始限定最小半径 R ;

步骤 4: 数据圆大小持续变化, 计算 $RTPro$ 和 $RHPro$, 即

If $RTPro \& RHPro \rightarrow 1$

得到此时数据圆

End if

步骤 5: 重复执行步骤 4 直到 $RTPro$ 与 $RHPro$ 满足要求或者搜索半径达到最大半径时停止;

步骤 6: 输出休眠节点个数。

3 实验与结果分析

3.1 实验数据集与集群分簇

实验的数据集对算法的仿真结果具有重要影响, 该文使用 Intel Berkeley 实验室在 2004 年 2 月 28 日至 4 月 5 日期间通过部署的 54 个传感器节点持续收集的真实数据集^[14], 该数据集收集时间长、数据量巨大 (2×10^6 余组数据) 适合应用于大规模海量数据型无线传感网的冗余设计及能耗问题的研究。由于该数据集部分节点数据的缺失, 文中只采用其中具有完整数据的 52 个节点收集到的数据。该数据集中每一个传感器获取的信息包含温度、湿度、光线和电压。实验中随机选择了温度和湿度信息进行分析。节点的集群构建如图 3 所示, 图 3 中真实反映了节点在实验室内的位置布局情况 (以 m 为单位, 横纵轴刻度值为相对于实验室右上角的距

离)。在节点集群构建完成后使用 k-medoids 算法对节点进行分簇。将图 3 中的节点集群划分为 6 个簇,如图 4 所示,每个簇中包含一个最优中心点(图 4 中方框标注),将该点选为簇头节点。在研究的第 2 阶段,应用 MFNDI 算法对图中各簇内的数据进行图像化建模及去冗余处理。

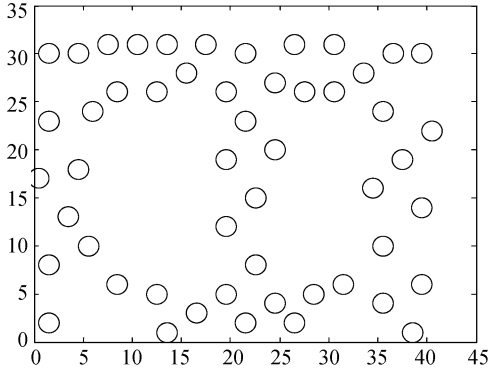


图 3 节点集群

Fig. 3 Node cluster

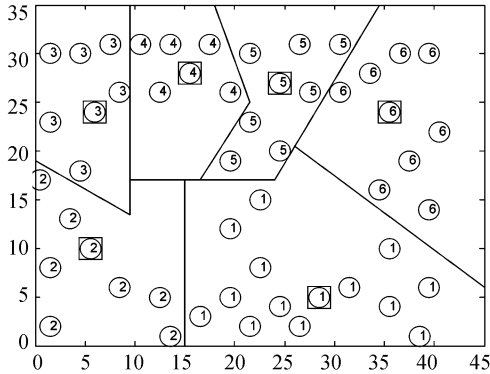


图 4 k-medoids 节点集群分簇

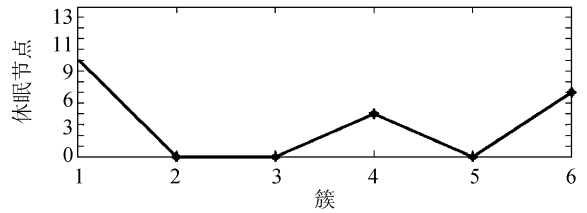
Fig. 4 Clustering of nodes in k-medoids algorithm

3.2 仿真结果分析

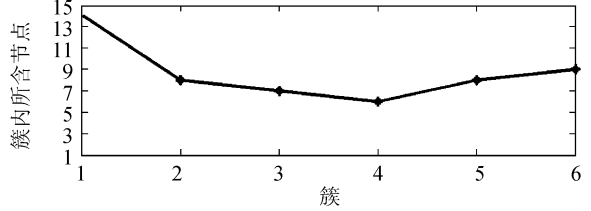
3.2.1 休眠节点与保真度

本文基于 MFNDI 算法的仿真结果分析如下。在图 4 的分簇结果上,对每个簇进行节点的数据图像化建模。模型构建后得到节点数据图像,应用算法 2 对节点数据图像进行处理。图 5 为各簇节点的总数及分离出的休眠节点个数。从图 5 中可以看出,簇内节点个数与休眠节点存在一定的线性关系,节点个数越多相对的冗余节点就可能越多而相对较小的簇可能的冗余设计就少,相应的休眠节点也越少。

由式(5)知,数据的保真度($Pro \in (0,1]$)能够准确地反映数据值的变化程度。保真度值越大表示数据变化越小,当 $Pro = 1$ 时说明数据不存在变化。图 6 为关于温度、湿度均值的保真度曲线图。



(a) 各簇转为休眠状态的节点数



(b) 各簇总节点数

图 5 各簇节点个数与休眠节点个数

Fig. 5 Number of nodes and dormant nodes in each cluster

如图 6 所示,尽管在各簇中部分节点获取的数据已经被滤除,但整个簇内的数据(温湿度)保真度依然保持很高,同时,在无休眠节点的簇中数据的保真度为 1,可知算法未对原始数据产生破坏。

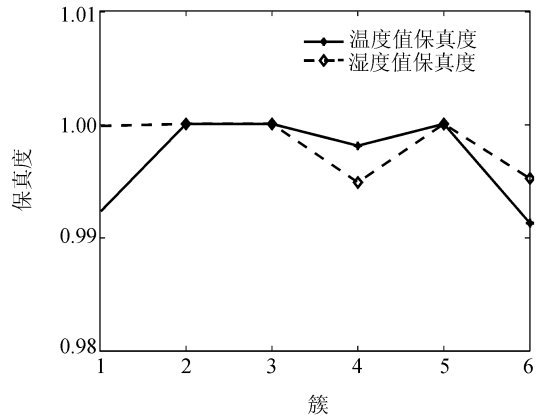


图 6 数据保真度曲线

Fig. 6 Data fidelity curve

3.2.2 数据量的减少与传感网能量消耗

在各簇内将部分节点转为休眠状态后,无线传感网中相应所产生的数据总量也将减少。假设在实验时各簇内每个节点在单位时间内产生的数据量相等且为 λ_x ,其中, λ_x 根据簇的大小具有不同的值。数据减少比例为:

$$DRate = \frac{n \times \lambda_1}{m \times \lambda_2} \quad (6)$$

式中,簇内的节点总数为 m ,休眠节点个数为 n 。 $DRate$ 为数据量减少的比例,当 $DRate$ 为 0 时表明该簇没有节点需要转为休眠状态其数据量未减少。表 1 为各簇的数据减少量,由表 1 可知,单个簇内的数据减少量可达 66.87%。这样极大地减少了无线传

感网中需要传输的数据信息。

无线传感网中的能量绝大多数被用于数据的采集与传输,因此在数据量减少的同时需要消耗的能量也将大幅减少,而生命周期得到提高。图 7 为将簇内数据减少前与减少后的无线传感网的生命周期进行对比。

表 1 各簇内数据减少比例

Tab.1 Data reduction ratio in each cluster

簇	数据减少比例/%
1	64.29
2	0
3	0
4	66.87
5	0
6	65.17

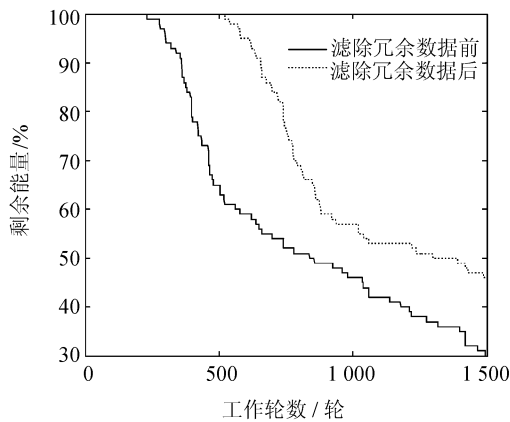


图 7 生命周期对比

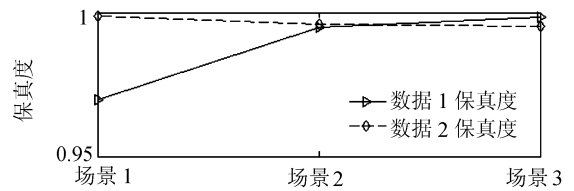
Fig.7 Life cycle comparison chart

如图 7 所示,在簇内数据量减少后无线传感网的能量消耗降低,随着工作轮数的增加,滤除冗余数据后的无线传感网的能量消耗速度明显低于滤除前,无线传感网的生命周期得到了极大的提高。经过真实数据集的仿真实验可知,算法快速、准确地找到了无线传感网中的冗余设计,滤除了其中存在的冗余数据量,降低了无线传感网的能量消耗。

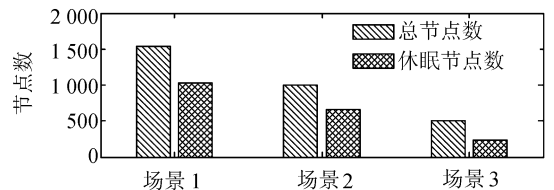
3.3 模拟数据集

在第 3.1 节中应用了实验室采集的真实数据集对本算法进行仿真。为了仿真算法在更大型、更复杂的无线传感网络中的效果,该节引用文献[15]中的方法模拟大型无线传感网络进行仿真实验。在面积 $1\ 000 \times 1\ 000\ \text{m}^2$ 的区域里依次模拟 3 个分别包含 500、1 000、1 500 个节点数的无线传感网场景(场景 1~场景 3)。运用 MFNDI 算法对以上 3 个无线传感网场景进行去冗余处理。如图 8 所示,尽管 3 个场景中的节点数巨大,能够产生海量信息数据。

但本文研究的算法有效地找到了其中存在的冗余设计,在无线传感网数据保持较高保真度的前提下,将冗余设计的节点转为休眠状态。



(a)各场景中数据保真情况



(b)各场景中休眠节点数与总节点数对比情况

图 8 模拟数据效果

Fig.8 Effect diagram of simulation data

结合图 5~7 的研究结论可知,去冗余成功后,无线传感网内产生及需要传输的数据量得到极大的降低,同时网络的能量消耗降低,提高了传感网的生命周期。

4 结 论

本文将图像处理中的均值滤波算法与大规模无线传感网的研究进行结合,提出了一种基于节点数据图像的均值滤波(MFNDI)算法,该算法在处理大规模无线传感网的能耗及数据冗余问题上具有明显的优势且为以后大数据规模下的无线传感网问题研究提供了一种参考算法。经过真实数据集与模拟数据集的仿真实验验证,结果表明在数据达到较高保真度的前提下,将节点划分为活跃节点与休眠节点,休眠节点转为休眠状态。从而不仅有效减少了无线传感网的冗余数据量,提高了数据的价值密度利于后期数据分析,又降低了无线传感网中产生、传输这些数据信息带来的巨大能量消耗,提高了无线传感网的生命周期。在未来的工作中,将对多变量、多维情况下的节点数据进行建模,以应对更加复杂的网络结构。

参考文献:

- [1] Winter R. Big Data: Business opportunities, requirements and Oracle's approach[R]. Cambridge: Executive Report, Winter Corporation, 2011: 1-8.
- [2] Wang F, Xu K, Xu Y, et al. Several challenges and coun-

- termeasures face by big data wireless communication[J]. Application of Electronic Technique, 2015, 41(3): 12 - 16. [王飞, 许魁, 徐友云, 等. 大数据无线通信面临的几点挑战与对策[J]. 电子技术应用, 2015, 41(3): 12 - 16.]
- [3] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. Wireless sensor networks: A survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393 - 422.
- [4] Ren F Y, Huang H N, University T, et al. Wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2003, 14(7): 1282 - 1291. [任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282 - 1291.]
- [5] Manikandan K, Kanmani P, Munnira S M. Energy efficient algorithms for wireless sensor network[J]. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 2015, 4(1): 342 - 346.
- [6] Takaishi D, Nishiyama H, Kato N, et al. Toward energy efficient big data gathering in densely distributed sensor networks[J]. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, 2014, 2(3): 388 - 397.
- [7] Yang Fei, Xiao Mansheng. Regression based power-efficient data streams aggregation algorithm[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(2): 508 - 511. [杨菲, 肖满生. 回归的能源有效网络大数据流汇聚算法研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(2): 508 - 511.]
- [8] Rios L G, Diguez J A I. Big data infrastructure for analyzing data generated by wireless sensor networks[C]//Proceedings of 2014 IEEE International Congress on Big Data. Anchorage, Alaska: IEEE, 2014: 816 - 823.
- [9] Bergelt R, Vodel M, Hardt W. Energy efficient handling of big data in embedded, wireless sensor networks[C]//Proceedings of 2014 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS). Queenstown, Neuseeland: IEEE, 2014: 53 - 58.
- [10] Wu M, Tan L, Xiong N. A structure fidelity approach for big data collection in wireless sensor networks. [J]. Sensors, 2014, 15(1): 248 - 273.
- [11] Suman S, Hussin F A, Malik A S, et al. Image enhancement using geometric mean filter and gamma correction for WCE images[C]. 2014 International Conference on Neural Information Processing, Kuching, Sarawak, Malaysia, 2014: 276 - 283.
- [12] Tang W, Tang J. An improved mean filter algorithm for impulse noise elimination[J]. Advanced Materials Research, 2014, 936: 2281 - 2285.
- [13] Devi P, Kaur K. A balanced cluster head selection based on k-medoids to enhance wireless sensor network life time[J]. International Journal of Science and Research (IJSR), 2014, 3(7): 20 - 23.
- [14] Intel Berkeley Research Lab Data[EB/OL]. [2016 - 08 - 21]. <http://db.csail.mit.edu/labdata/labdata.html>.
- [15] le Borgne Y-A, Moussaid M, Bontempi G. Simulation architecture for data processing algorithms in wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications(AINA 2006). Vienna, Austria: IEEE, 2006: 383 - 387.

(编辑 赵婧)

引用格式: Jiang Peng, Li Yongpeng, Wu Feng, et al. Research on energy consumption and eliminate of large data redundancy method for large scale wireless sensor networks based on mean filter[J]. Advanced Engineering Sciences, 2017, 49(2): 145 - 151. [蒋鹏, 李勇鹏, 吴锋, 等. 基于均值滤波的大规模无线传感网能耗及海量数据去冗余方法研究[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(2): 145 - 151.]