

一种无线传感网络信息处理的层次型智能方法

戴志锋¹, 李元香², 刘峰¹, 王伟武²

(1. 武汉大学计算机学院, 武汉 430072; 2. 武汉大学软件工程国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 针对减少无线传感器网络信息获取和处理代价这一关键性问题, 提出了将信息处理和粗糙集技术融为一体的新的研究思路, 并设计了一种层次型智能信息处理方法。在无线传感器网络实时森林火灾监测的实际应用中, 该方法通过从3个层次进行智能数据分析, 使传感器节点仅自动获取和传送有用的最小数据集信息, 从而有效地使用节点受限资源。

关键词: 无线传感器网络; 层次型智能信息处理; 粗糙集; 能量效率

Hierarchical Intelligent Method of Information Processing in Wireless Sensor Networks

DAI Zhifeng¹, LI Yuanxiang², LIU Feng¹, WANG Weiwu²

(1. School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430072; 2. State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072)

【Abstract】 Considering the key issue with respect to reducing the cost of obtaining and processing information in wireless sensor networks, this paper proposes a new research idea coupling rough set theory with the information processing. A hierarchical intelligent information processing method is presented. Meanwhile, in practice, by intelligent data analysis on three levels, i.e. local data processing, data fusion in each cluster, global attribute reduction and rule generation, a wireless sensor network paradigm for real-time forest fire detection shows that the novel approach can make it achievable for the sensor nodes to extract and transmit only the useful minimum set of high quality information automatically, leading to maximum utilization of the constrained resources on sensor nodes.

【Key words】 Wireless sensor networks(WSN); Hierarchical intelligent information processing; Rough set; Energy efficiency

1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是当前热点研究领域之一, 一个典型的WSN系统, 如图1^[1]所示, 其中, 传感器节点构成WSN的基础支持平台, 能够同物理世界交互, 协作地实时感知和采集各种监测对象的信息, 并以自组多跳无线网络方式将物理环境特征信息传送到用户终端, 从而实现真实物理世界、逻辑上的信息世界以及人类社会的融合, 开拓新兴的人与自然交互方式。

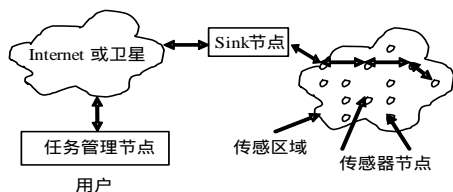


图1 无线传感器网络系统结构

传感器节点处理能力、存储能力、通信带宽和携带能量都有限^[1], 特别是由于通常运行在恶劣甚至危险的远程无人区环境中, 能源无法替代或再生, 节点经常失效或废弃, 这使得电源能量成为各个节点最宝贵的资源和影响节点寿命的关键因素^[1]。因此, 低电路复杂性、节点能耗和寿命分析^[2]是设计适合WSN独特制约因素组织结构和通信协议的重要依据。

目前, 与有效地使用WSN片上受限资源(尤其是能量)密切相关的数据管理, 特别是智能信息处理方面的研究进展所见不多, 而粗糙集是一种用于数据分析的数学理论^[3], 在研

究不精确、不确定的真实世界中数据的知识表达、归纳、学习和挖掘等方面提供了有效技术。本文针对WSN应用中智能信息获取和处理问题, 运用粗糙集智能技术, 提出了一种有效的层次型智能信息处理方法。

2 WSN 应用建模

由于传感器节点兴趣是在于现实世界中发生或将要发生的事件, 其核心任务是感知数据, 所产生数据被要求基于确定的属性, 描述事件的属性及属性值被命名为属性-值对^[1], WSN成为以物理现象属性数据处理为中心的网络。因此, 信息系统概念能用作WSN数据表示的形式模型。

通常, 人们以相当含糊的术语描述物质和精神世界, 这种概念的形成和表示中的含糊性产生于信息不完整或知识缺乏情形下描述精确定义概念能力的不足, 以至于现实生活中存在着许多不一致性或不确定性。具体对于 WSN 而言, 由于节点自身能力有限加上其易失效性, 这些都加剧了节点的不稳定性和网络资源的不确定性, 要求我们能使用不确定、含糊信息进行近似推理。通过基于一类特殊不确定性, 即个体不可分辨性, 以信息系统形式表示的对象-属性关系运算作为直接模型假设, 粗糙集技术能够提供粗糙而有效实用的解决方案, 使得为 WSN 不确定数据管理建立一个相应的分布

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60473014)

作者简介: 戴志锋(1967 -), 男, 博士生, 主研方向: 智能计算, 演化算法, 粗糙集, 无线传感器网络; 李元香, 博士、教授、博导; 刘峰、王伟武, 博士生

收稿日期: 2006-08-09 **E-mail:** dwjse@163.com

式计算模型成为可能。

在该模型中,根据一个WSN观察和测量所得现实数据信息,将现实世界描述为信息系统,每个传感器节点被看作一个对象个体,物理环境由一组属性即被观测数据项描述,而且属性集可划分为条件属性和决策属性两部分,并分别对应于物理环境的输入和输出,条件属性和决策属性间的隐含依赖常符号化为决策规则(条件-结论语句对)的集合^[3]。本文随后的分析仅使用该模型包含的描述信息,粗糙集技术通过知识简化等智能数据处理,从这样决策表信息系统中提取有用信息、发现知识,获取与数据描述的物理环境一致的、有助于数据解释和物理环境进一步预测的决策规则,再将这些决策规则作为WSN应用的数学模型,从而分辨其特征、过程,实现从经验知识到基于规则知识的转换。

3 WSN 层次型智能信息处理方法及示例

无线传感器网络节点数以万计,节点之间存在着松散的耦合,构成一个高度复杂的分布式系统,集中控制显然不能满足需求,而降低复杂度的一个有效途径是将其划分成基于簇的层次型结构模型,即按照某种特定簇标准将 WSN 节点自动分成多个簇组(clusters),在每个簇中根据能量等资源情况动态地选出一个节点作为簇头(cluster header),它在比较高的层次上代表本簇;同样的机制也应用到簇头中。在所形成的分层结构中,利用局部化原理,传感器节点只同有限范围内相邻节点交互,以簇为单位进行一定程度的局部数据融合;在此之上,具有最大范围覆盖能力和强壮连通性的一个最小代表性簇头节点子集,又被用于负责中继其它簇头节点转发的数据,与 Sink 节点通信,执行全局数据融合,以实现传感器网络负载、能耗与信息处理的整体优化。

以下,结合WSN实时森林火灾监测具体应用,示例说明一种层次型智能信息处理方法。森林火灾与气候条件密切相关,天气要素具有大范围空间和时间可变性,使得及时对其跟踪存在固有困难性,数据自动获取对火灾风险评估十分必要^[4]。而大量传感器节点较适合于被随机、密集地部署在人不能或不宜到达的森林中,彼此协作执行分布式火灾监测传感。该方法中,粗糙集理论针对传感器实时现场检测气候数据,以决策表信息系统形式,通过智能数据分析,提供给用户有效的最小数据集^[4],建立基于知识规则集的智能林火预警决策模型。

3.1 节点局部数据处理

在 WSN 实时森林火灾监测实例中,传感器节点感知温度、相对湿度、降雨量、烟尘、风速等天气因素(条件属性集),以确定火灾级别(决策属性集)。经过属性值离散归一化数据预处理,得到离散化决策表信息系统如表 1,其中 cluster1、cluster2 为簇,n1、n2 等为节点类,“支持度”栏表示节点类的冗余节点数。

表 1 WSN 决策表信息系统

簇	节点类	支持度	温度	相对湿度	降雨量	烟尘	风速	火灾级别
cluster1	n1	2	高	低	低	是	高	很高
cluster1	n2	7	很高	低	很低	是	高	很高
cluster1	n3	8	很高	很低	很低	是	很高	很高
cluster1	n4	3	高	低	很低	是	高	高
cluster2	n5	3	高	低	低	是	高	高
cluster2	n6	9	很高	低	低	是	高	很高
cluster2	n7	2	高	低	很低	是	高	很高
cluster2	n8	2	高	低	低	*	低	高

首先,对每个传感器节点数据进行局部简单计算处理;然后,基于相邻区域的传感器节点所感知数据具有相关性,

根据粗糙集不可分辨关系,可以确定属于同一等价类的冗余节点,从而只需要少量一部分节点处于激活状态就可以保证整个网络的覆盖和连通,得到节点约简情况如表 2。由于只广播其它节点所没有的数据给簇头,因此减少了通信开销,保证了节点能源效率,而且,当传感器节点相互靠近并远离基站时,随着网络中有更多的冗余节点,效果更为明显。

表 2 WSN 节点约简

簇	总节点	冗余节点	节点约简率(%)	簇寿命延长率(%)
cluster1	20	16	80	约 150
cluster2	16	12	75	约 100

3.2 簇内数据智能融合

数据融合已成为WSN的基本原则,其主要挑战在于传感器节点数量之巨和每个节点受限资源^[5]。WSN时空相关性数据冗余的存在,不仅是对存储、计算资源的浪费,尤其是导致大量传输能量消耗和浪费,而且不利于作出正确而简洁的决策,关键是如何保证传感器节点仅自动获取和传递有用信息^[6]。

首先,由于 WSN 对数据感知误差或获取限制等原因,使得现实需要处理的数据在一定程度上存在部分对象的一些属性值未知情况,如表 1 中节点类 n8 的“烟尘”属性值,粗糙集理论通过缺失数据补齐方式,适合于从其值域{是,否}中指派一个作为实际取值,在这里,值“是”更为合理,从而消除信息系统的不完备性。接着,针对簇头节点汇聚的传感数据中冗余问题,分别对两个簇进行条件属性约简,根据粗糙集理论中不可分辨关系评估每个条件属性重要度,如果去掉某一属性不会影响决策表信息系统协调性,则该属性冗余,据此可知,相对湿度、烟尘、风速等均为冗余属性,而{温度,降雨量}为条件属性集仅有的一个最小约简,同时也就是核,亦即不能消去的知识特征集合,从而得到简化决策表信息系统,并用其中每个对象形成一条简化决策规则,把相同决策规则合并(如簇 cluster1 的 n2 和 n3、簇 cluster2 的 n5 和 n8),如表 3 所示。

表 3 WSN 决策表信息系统及决策规则简化

簇	节点类	温度	降雨量	火灾级别
cluster1	n1	高	低	很高
cluster1	n2,n3	很高	很低(-)	很高
cluster1	n4	高	很低	高
cluster2	n5,n8	高	低	高
cluster2	n6	很高	低(-)	很高
cluster2	n7	高	很低	很高

获得条件属性集最小约简十分重要,能够简化森林火灾监测决策,同时对数据融合的效果影响极大。具体分析来看,属性蒸发率表示了数据融合后问题所涉及因素的减少程度,实例蒸发率则说明了给定问题所需规则的减少程度,在这里,两个簇的属性蒸发率均达 60%,实例蒸发率均达 25%,可见问题所需信息的减少程度即数据蒸发率均得到了一定的体现,保证了仅有少量实际需要的数据流量在簇头与 Sink 节点之间传递,有效地降低了簇头能量消耗,在一定层次上较好地解决了 WSN 数据融合的瓶颈问题。

3.3 全局智能信息集成

当不同簇头节点聚合数据经优化多跳路由汇聚到基站后,粗糙集理论特别适合于在全局层次上对这些数据进行智能信息集成,尤其是决策规则属性值的约简,从而获得少量有用全局信息用于决策,确定物理环境特征。然而,在实际

(下转第 89 页)