

基于径向基网络的WSN跨应用能耗控制方案

刘冰月

(大连东软信息学院软件工程系, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 针对无线传感网节点资源受限, 以及很难更换电池等问题, 如何有效降低节点能耗成为研究关键点。现有文献大多针对单一应用单独设计解决方案、单独评价方案效能, 而实际上单一节点通常执行多个应用, 因此需要研究基于跨应用的最优化能耗控制方案, 使用基于神经网络径向基函数的k均值聚类自组织算法估算聚类中心、并使用最小均方差算法调整和修正聚类中心到输出点的权重矩阵以改善收敛速度, 最终实现数据融合、设计跨应用资源调度方案, 可以实现节点能耗控制。仿真实验结果表明, 随着节点运行轮次增加, 本文算法的节点能耗显著降低。

关键词: 无线传感网; 能耗控制; 跨应用; 径向基函数

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

A Cross-application Energy Saving Mechanism Based on RBF for Wireless Sensor Networks

LIU Bingyue

(Department of Software Engineering, Dalian Neusoft Institute of Information, Dalian 116023, China)

Abstract: With regard to the problems of constrained node resources and difficult battery replacement, how to reduce energy consumption of nodes has become a key research point. Existing literature mostly aims at the single application to design scheme and performance evaluation protocols. Since a single node executes more than one application, it is a new challenge to make an optimal energy control based on cross-application. The paper proposes a cross-application energy saving mechanism based on RBF for Wireless Sensor Networks to control node energy consumption. Then adjust and modify the weight matrix of the cluster center by Least Mean Square algorithm to realize data fusion. The simulation experiment results show that the node energy consumption can be significantly reduced after several rounds.

Keywords: wireless sensor network; energy saving; cross-application; radial basis function

1 引言(Introduction)

无线传感器网络通常由上百万甚至上千万节点通过自组织的方式构成网络, 节点分布密度较大, 而节点本身的计算能力、存储能力和存储能量的能力均十分有限, 并且经常部署到条件恶劣的无人环境中, 很难对节点进行更换, 因此如何在保证节点正常工作的情况下尽可能地减少能量消耗成为无线传感网的一个重点研究问题。为了解决这个问题, 无线传感器网需要引入各种用于抑制网络覆盖面积萎缩、抑制网络空洞、延长网络寿命的功能和应用, 而这种做法导致一个节点上的应用增多从而造成在资源受限的情况下承担多种功能的局面。

现有的解决方案大多考虑的是节点上某一个应用来单独设计、单独评价方案的有效性, 力求使节点的有限资源能够满足单个应用的能耗要求, 而当多个应用组合后, 则很难做

到所有应用的最优化协同和整体能耗控制。

2 研究现状(Current status of energy saving mechanisms)

由于无线传感网中节点的能量消耗主要来自于数据感知、数据计算和数据通信等几方面, 其中, 数据通信的单位能耗是最高的^[1], 目前对于无线传感网的能耗控制研究主要集中于如何减少节点间数据通信次数、有效进行数据融合等方面。文献[2]提出了一种基于簇头选举算法的能量控制方案。文献[3]研究了数据采样过程中基于数据感知方法的能耗控制策略。文献[4]研究了无线传感网中现有的数据融合算法。文献[5]提出Duty cycling概念来管理节点的激活与休眠两种状态的切换, 通过使节点尽可能多地休眠达到节省能耗延长寿命的目的。

现有应用大多采用分立开发的方式, 各应用按照自己的

应用需求进行网络通信的设计,调用节点提供的通信API去实现。这样各应用有不同的数据包结构、有不同的节点休眠与激活调度。此外,在无线传感器网络中,节点间的通信通常就是发生在相邻的节点之间,因此,当多种应用分立开发时,相邻的两个节点之间进行重复通信的可能性很大。为了提高信息在应用之间的使用效率,需要重点解决以下三个方面的问题:消息的“复用与分解”;跨应用的数据共享;服务提供方式(应用编程接口设计)。本文主要针对跨应用数据共享和数据融合这一问题进行研究。

3 跨应用能耗控制方案设计(Design of a cross-applications energy saving mechanism)

由于无线传感网各节点分布密度较大,节点上的各应用经常会采集、存储或传输大量冗余信息,从而消耗过多的资源和能量。利用节点本地计算和存储能力来进行数据融合,减少冗余信息,降低通信数据量,这样就能够减少无线传感网节点的能量消耗,从而达到延长节点寿命、降低资源负荷等目的。

为解决以上问题,本文提出跨应用能耗控制方案。本文从跨应用数据共享和数据融合这一方面入手,通过建立一个数据中心,如图1所示,将各应用需要通过无线通信交互获得的数据转变为访问本地数据,各应用不再直接使用无线通信功能。数据中心通过调度器自行维护各应用所需数据的时效性。通过这种方式谋求各应用间的数据共享,避免重复通信,达到节点整体的资源优化使用。

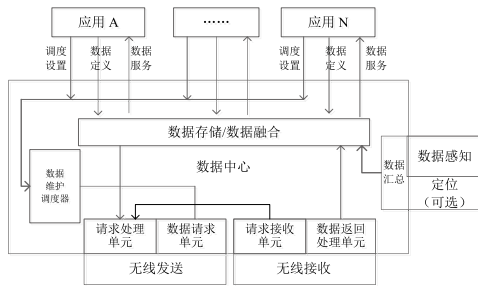


图1 跨应用数据共享功能框图

Fig.1 Framework of cross-application data sharing

这里的数据存储单元在进行数据存储时,由于来自多个应用的数据信息量较大,并且具有不同的数据类型,但数据之间也存在多种联系或冗余,在进行数据存储时,需要根据上层应用数据的相似性进行数据融合,并根据各应用需求进行最大可能的压缩数据。

当前主要技术方向是基于提供的样本数据的相似性进行分类,可以借助神经网络的学习算法有效地实现数据融合的智能。使用特定的学习算法参照训练样本值进行不断地调整和修正权值,从而实现神经网络对大量不确定数据进行推理,由于神经网络的非线性逼近能力,可以在对训练样本进行学习并不断调整和修正权值之后,建立起有效的神经网络数据融合模型。

数据中心属于更特殊的节点设备,系统的模块化使得节

点可以根据环境条件配备不同类型的传感器,而数据中心可以整合所有类型的数据。当节点休眠时,通常只启动数据采集模块和数据融合模块,当数据中心检测到节点被激活时,它将打开通信模块,这种机制可以显著降低节点功耗。更重要的是,数据中心所采用的数据融合算法会大大减少通信数据量和通信次数,从而节点能耗也随之下降^[6-9]。

4 基于径向基函数的数据融合算法(Data fusion algorithm based on radial basis function)

由于无线传感网中各传感器节点获得的信息数据量非常大,数据的类型也是各种各样的,这就要求数据融合系统能够通过不断的学习,准确的理解和掌握这些数据之间的联系。另外,传感器节点从外界采集的数据具有不可靠、不完备等特点,从而要求数据融合系统必须具有较好的容错性。神经网络由于自身的特点可以很好地满足以上要求。

本文选择径向基函数作为神经网络的隐层激活函数。为了设计一个符合实际需求的RBF神经网络,在得到足够的训练样本后,需要解决以下问题:

首先,必须确认神经网络中的隐节点数,然后确定各个聚类域的聚类中心、扩展常数和输出权重矩阵。构建神经网络的核心是选择样本聚类中心。最便捷的方法是将所有样本作为一个聚类中心。这种方法的优点是计算复杂度较低,适用于变量较少的小型网络^[10]。

如图2所示,假设神经网络中有 N 个输入, K 个隐节点和 M 个输出。假设输入向量为 $I_y = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}) \in R^N$, $W \in R^{K \times M}$ 是输出权重矩阵, $O = [O_1, O_2, \dots, O_M]$ 是网络输出向量集合, φ_i 是第 i 个隐节点的激活函数。

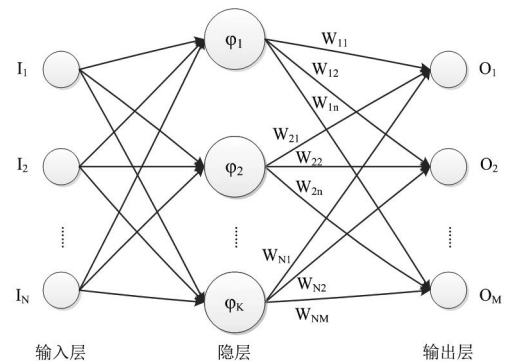


图2 RBF神经网络

Fig.2 RBF neural network

在图2中,数据中心从应用层接收到的各类型数据作为输入样本,中间层是隐层,由隐节点构成,变换函数采用RBF函数,本文使用径向高斯函数作为中心点的径向平衡衰减非负和非线性函数^[11]。输出层采用线性激活函数。

在RBF中选择聚类中心有很多种方法。本文使用了一种称为k均值聚类的自组织方法。该算法有两个阶段:自组织学习阶段和监督学习阶段。在第一阶段,它将估计聚类的中心,然后再根据期望值的均方误差和第二阶段的输出值不断调整权重。

假设 n 是迭代次数,第 n 次迭代的聚类中心是 $C_1(n)$, $C_2(n)$, $\dots$, $C_K(n)$ 。相应的聚类域是 $D_1(n)$, $D_2(n)$, $\dots$, $D_K(n)$ 。算法的步骤如下:

- (1)随机选择 K 个不同的初始聚类中心,并且 $n=1$ 。
- (2)计算所有输入样本与聚类中心之间的距离 $\|I_y - C_x(n)\|$, $x \in [1, K]$, $y \in [1, N]$ 。
- (3)基于最小距离原则对输入样本 I_y 进行分类,计算样本 I_y 与聚类中心距离最小值 $\min_x \|I_y - C_x(n)\|$,其中 $x \in [1, K]$, $y \in [1, N]$,则样本 I_y 属于聚类域 $D_x(n)$ 。
- (4)基于 $C_x(n+1) = \sum_{j \in D_x(n)} j / N_x$ 重新计算新的聚类中心,其中 N_x 是聚类域 $D_x(n)$ 的样本数量。
- (5)如果 $C_x(n+1) \neq C_x(n)$,则转向第2步,否则聚类结束,聚类中心为 $C_x(n)$ 并转向第6步。

(6)此时聚类中心的扩展常数为 $\min_x \|C_y - C_x(n)\|$ 。
当确定聚类中心和扩展常数之后,就可以使用最小均方差算法不断调整和修正聚类中心到输出点的权重矩阵 W 。算法的步骤如下:

(1)假设输入向量为 $I_y = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}) \in R^N$, C_i 为第 i 个聚类中心节点,第 i 个隐节点的输出值为 $\phi(\|I_y - C_i\|)$,则所有隐节点的输出矩阵可表示为 $H \in R^{N \times K}$ 。

(2)若当前权值矩阵为 $W \in R^{K \times M}$,则对所有输入样本的输出预测矩阵为 $O = HW = [H_1W_1, H_2W_2, \dots, H_NW_M] \in R^{N \times M}$ 。

(3)假设测试集的输出矩阵为 $O_{test} = [O_{t1}, O_{t2}, \dots, O_{tN}] \in R^{N \times M}$,则第 i 个输出向量的均方差 MSE 计算公式如下:

$$MSE = \frac{\sum_{j \in [1, N]} (O_{tij} - H_j W_i)^2}{n}$$

其中, $i \in [1, M]$ 。

(4)使用最小二乘法求解参数 W_i 使 MSE 最小,从而得到修正后的权重向量参数 W_i ,其满足预测值和真实值之差的平方和均值最小。

5 仿真实验结果(Simulation experiment and performance analysis)

本文使用ZigBee模块组建网络,利用Arduino工具开发ZigBee驱动并嵌入单片机构成中心节点,使用MATLAB仿真工具,在 $30m \times 30m$ 的区域内随机放置500个传感器节点,组成仿真神经网络。所有节点相互连接,并且各节点的初始能量设置为相同。中心节点通过最小均方差算法不断修正权重矩阵和阈值,并发送到终端节点。终端节点传感器通过新的权重矩阵和阈值进行数据融合,通过单片机编程进行采样结果的监测和分析,进而对比本文的能耗控制策略和数据融合算法与传统BP算法的性能。

如图3所示,本文算法通过节点上的跨应用资源调度方案达到能量传输自适应,可以降低节点在传输周期内的工作强度,并且依据算法进行数据融合,与采用周期轮询方式的DSPC算法相比,经多个回合执行之后,本文算法的节点能量消耗总量低于传统算法的能量消耗总量。

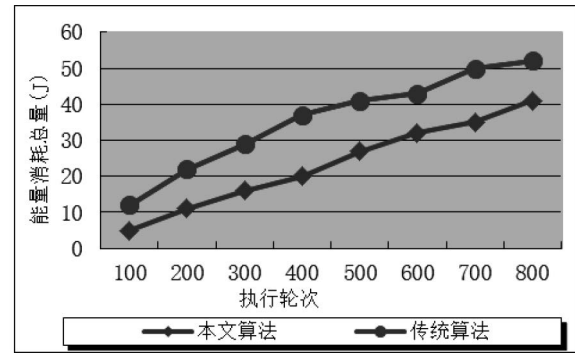


图3 能量消耗总量

Fig.3 Total energy consumption

与采用传统BP算法的普通节点相比,采用本文改进后的算法的节点的生命周期也有着显著改善。随着节点数量的不断提高,信息传输也将消耗相对较高的功率。在这种情况下,本文提出的算法的优点将更为明显。图4对比了本文算法和传统BP算法在不同节点数量时的收敛速度。从实验结果可以看出,当单片机CPU频率高于2000Hz时,算法收敛速度仅和节点数目有关。

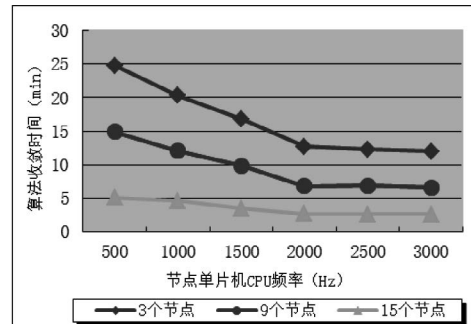


图4 算法收敛时间

Fig.4 Algorithm convergence time

通过以上仿真实验结果可以看出,优化后的数据融合算法能够有效地降低节点能耗,将优化融合算法应用于无线传感器网络的ZigBee网络,可以达到远距离、低功耗信息传输的目的。

6 结论(Conclusion)

目前无线传感器网络的关键问题是如何在资源受限的条件下使各种应用最佳地协同工作。为解决实施过程中的关键问题,本文给出了一种新的解决方案。

解决方案从两个方面考虑共享多个应用的数据:数据存储和数据通信。它可以提高数据存储的效率,减少重复的通信。另外,引入了数据中心节点进行数据的调度、维护和本地存储,以减少通信次数。在数据存储方面,使用人工神经网络数据融合算法进行数据融合。该算法目前基于原始检测数据进行数据信息的分析和融合,将来的工作是,对数据进行特征抽取,依据提取的特征信息对多个传感器节点、多应用的数据进行分析和归类,然后进行目标状态和特征的数据融合。

(下转第16页)