

无线传感器节点节能方法研究

王培东, 李 强

(哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 通过分析节点传感器的数据与时间的相关性, 采用节点传感器数据预测模型描述节点传感器数据的规律, 并建立基于该预测模型的节点数据发送机制, 从而减少节点数据发送次数以及节点间的数据通信量, 降低节点能耗。实验结果表明, 在应用此预测模型后, 节点电池的工作寿命能够延长 4% 左右。

关键词: 无线传感器网络; 节点; 数据预测模型; 数据发送机制

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)05-0060-04

The study of node energy-efficiency strategies in wireless sensor networks

Wang Peidong, Li Qiang

(College of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Through the analysis of the node sensor data and time relativity, this paper uses node sensor data forecast model to describe the law. The mechanism based on the forecast model is set up, which can significantly reduce the reporting counts, data traffics in networks and node consumption. Experimental results show the working time of node can extend about 4% after using this forecast model.

Key words: WSN; node; data forecast model; data transmission mechanism

无线传感器网络 WSN (Wireless Sensor Networks) 是一个由大量价格低廉的无线传感器节点组成的全分布式的自组织网络, 它将信息采集、处理、传输、管理与应用等多种技术合为一体。由于无线传感器网络具有自组织、易扩展、实时性和健壮性等诸多特点, 使其在军事、环境、医疗、空间探索、智能家居、灾难搜救等领域具有广泛的应用前景。然而建立一个运转良好、鲁棒性好的无线传感器网络还面临着许多挑战, 不同的应用场合对无线传感器网络的能耗、吞吐量、延迟等有着不同的要求, 这些要求和制约因素为无线传感器网络的研究提出了新的研究方向^[1]。而在这些技术问题中, 电源消耗是一个很重要的问题。因为无线传感器节点作为微小器件, 只能配备有限的电源, 在某些应用场合下, 更换电源几乎是不可能的, 而且更换电源的成本甚至要超出重新安放一个节点。这使得传感器节点的寿命在很大程度上依赖于电池的寿命, 所以降低功耗以延长系统的寿命是无线传感器网络设计需要首要考虑的问题。

1 传感器节点节能策略分析

目前无线传感器网络的节点能耗研究的方法基本可分为三大类: 拓扑控制策略 (Topology Protocols)、能量有效路由控制策略 (Power-aware Routing Protocols) 以及休眠管理 (Sleeping Management)。下面分析三类方法的局限性和特点。

(1) 拓扑控制策略

拓扑控制策略研究的主要侧重点在保证网络正常工作的情况下, 通过调整节点间的无线传输距离来降低节点的传输耗能。拓扑控制策略是无线传感器网络最重要的技术之一。从降低节点传输能耗方面来为整个节点保持能量。主要用来降低无线干扰和能量消耗, 其目标是在降低无线干扰和能量消耗的前提下, 控制网络内节点间的通信路径和节点的传输范围, 以提高全网的效率和生命周期。

(2) 能量有效路由控制策略

能量有效路由控制策略研究的主要侧重点在以节点多跳传输方式选择适当的传输距离和路由为传感器

节点节约电能。

“热点问题”(Hot Spot Problem)是指在路由的建立、维护以及在数据传送的过程中,可能使某些节点能量消耗过多,而导致该节点能量过早的耗尽。如果这些节点位于网络的连通关键位置,就会使整个网络陷入瘫痪状态,无法完成正常的中继任务。能量有效路由的主要思想是将能量均化,进而延长热点节点的生存期。

上述两类策略的共同点在于,当节点的无线传输接口处于传送/接收信息的正常工作状态下减少能耗;而当节点处于非工作状态仍存在能耗的情况下,都提出了传感器节点休眠管理策略。

(3) 休眠管理

该策略的思想是在保证网络正常传输的前提下,关闭某些暂时无用的节点,让它们处于“休眠”状态,仅激活少数用于多跳传输的节点,来降低网络的总体能耗。

现有的研究已经证明,将无线传感器网络中处于“空闲”状态的节点转换为“休眠”状态时,对能耗的节省具有十分明显的意义。在此应用中,只将少量的节点处于“激活”状态,而使其他节点处于“休眠”状态。传感器网络在休眠时主要考虑两方面的因素:连通性和覆盖性。参考文献[2]指出,在保证覆盖性的同时为了保证连通性,只要传感器节点的感知距离和通信距离满足一定的比例关系就能实现。参考文献[3]主要研究的是在节点处于“休眠”状态时的网络连通性。而参考文献[4]则对网络的连通性和覆盖性都进行了研究,此外,其提出的休眠调度算法最大限度地延长了集群网络的生存期。

综上所述,在无线传感器网络中关于节点能量节能的研究主要侧重在整个网络,或者是网络中的主要节点能耗,而对单一节点生存期的关注很少。基于此种情况,本文主要研究了单一节点的节能方法。

2 建模流程与数据发送机制

2.1 预测模型及构建

在绝大部分情况下,节点传感的数据都是在一个可预测的范围内,节点整个生命期内传感的数据形成了一个与时间相关的数据序列,因此可以通过时序数据分析的方法进行建模。稳定的时间序列模型有自回归模型(AR)、移动平均模型(MA)、自回归移动平均模型(ARMA)三种类型。如果 t 时刻的数据与 $t-1, t-2, \dots, t-n$ 等时刻的数据有相关性,则一般用自回归模型;如果 t 时刻的数据与 $t-1, t-2, \dots, t-m$ 等时刻的数据的波动有相关性,则一般用移动平均模型;当上面两种情况同时存在时,则可以选取自回归移动平均模型^[5]。

构建模型时,首先由客户端采集一定时间段内节点的历史数据作为采样值,通过对历史数据随时间变化的曲线进行判定分析,选取合适的时序模型。在本实验中,具体的传感数据(SD)建模步骤为:(1)获取节点历史传感数据值;(2)利用采样值的统计量进行模型选择;(3)利用

采样值对模型预测式中的参数值进行估算;(4)得出预测式,建立模型。

预测式可以通过实验数据差分值的自相关函数值和偏自相关函数值来确定。

2.2 数据发送机制

无线传感器网络的节点能耗^[6]如图1所示,主要分为6个部分:传感能耗、处理数据能耗、发送能耗、接收能耗、空闲能耗和休眠能耗。



图1 节点状态能耗分布图

由图可知,节点耗能主要以发送状态、接收状态和空闲状态为主,想要使传感器节点能耗最小,就必须降低节点在这三个部分的能耗。而在这三部分功耗中,空闲状态的功耗可通过休眠算法等减少,但是只要无线传感器网络处在工作状态,发送状态或接收状态时的能耗只能通过减少数据的发送和接收量来实现。因为数据发送和接收的速率是一定的,所以发送和接收的时间正比于数据量,因此只有降低数据量才能降低发送状态和接收状态的功耗。

图2是无线传感器的典型结构^[7],以此为例进行分析。

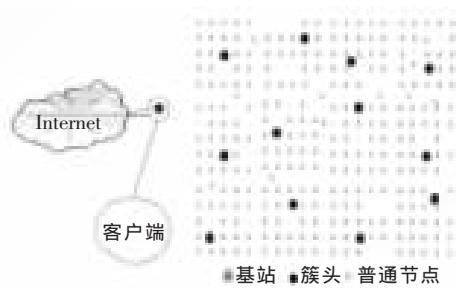


图2 无线传感器的典型结构

本文方法此假设普通节点的发送功率为 p_1 ,处理功率为 p_2 ,则普通节点的对数据处理能耗为:如该数据为不可信数据,节点能耗为 $p_2 \times t_1$,数据对比处理时间为 t_1 (为常量);如该数据为可信数据,则功耗为 $p_2 \times t_1$,发送功耗为 $p_1 \times t_2$,其中 t_2 正比于发送的数据量。节点的功耗计算如下:

(1)数据可信,对数据进行处理后选择发送,功耗为 $E_1 = p_2 \times t_1 + p_1 \times t_2$ 。

(2)数据不可信,不对数据发送,功耗为 $E_2 = p_2 \times t_1$ 。

(3)如不对数据进行筛选直接发送,功耗为 $E_3 = p_1 \times t_2$ 。

图 1 可知, $p_1 > p_2$, 虽然在数据正确的情况下节点增加的能耗为 $p_2 \times t_1$, 但是即使在普通节点内不对数据进行处理, 簇头节点也将对数据进行处理。由于普通节点内的处理是对单一数据的处理, 处理时间上要远小于簇头节点对数据处理的时间, 可知, 单个节点对数据的处理会降低系统的整体能耗, 如果数据是不可信的, 整体能耗为 E_2 , 不仅避免了节点的发送功耗 $p_1 \times t_2$, 也避免了簇头节点的接收功耗。

基于该预测模型的客户端与各节点间的数据处理机制, 数据发送具体过程如下:

(1) 节点向客户端传送当前的传感值(为了保证准确性, 可设置为多次发送); 客户端根据各节点当前的工作环境和历史数据建立各节点的预测模型, 并将预测式传送给各节点; 节点获得预测式后依据预测式和节点前一次传感的数据值 D_{i-1} 对下一次传感的数据值 D_i 进行预测, 预测出的结果 D_{i1} 与 D_i 进行比较, 如果比较结果大于阈值 ε (用户可根据实际情况自行确定), 则认为该数据是不可信数据, 节点将不对该数据进行传送, 同时令 $D_{i-1} = D_i$, 进行下一次传感数据的预测; 如果比较结果不大于阈值 ε , 则认为该数据是可信数据并将该数据传送给客户端。

节点收发数据的伪代码如下:

```

sensor node() //传感器
{
  While(! predic mode()) //获取预测式的结果
  Nor mode send(data);
  //获取不成功则以普通模式发送数据
  While(! abs( $D_i - (D_{i1})$ ) <=  $\varepsilon$ )
  // $D_i$  与  $D_{i1}$  的绝对值小于阈值  $\varepsilon$ 
  { $D_i = \text{predic mode}(D_{i1})$ ;
  //根据  $D_{i-1}$  和预测模型预测出  $D_i$ 
  Send-Client( $D_i$ ); //将  $D_i$  发送
  Else  $D_{i-1} = D_i$ ;
  }
}

```

(2) 客户端根据节点在一段时间内发送来的数据建立预测模型, 并将该预测模型的预测式发送给节点, 节点按照步骤(1)对传感数据进行处理。同时, 在客户端设置计数器 K , 初始令 $K=0$, 对节点传感到的不可信数据次数进行计数, 如节点连续 3 次(用户可根据实际情况自行确定)未能收到该节点传输的数据, 客户端可发出报警信号, 监测人员可利用客户端对该节点重新进行初始化, 或者对该节点进行检查, 或者舍弃该节点。

客户端收发数据的伪代码如下:

```

Client() //客户端
{
  Collect(data); //采集当前传感数据
  predic mode(Collect()); //建立预测模型
}

```

```

while( $K < +3$ )
K++;
warning();  $K > 3$  //则警告
}
while(receive(data) //收到的节点数据
deal(data); //处理数据
}

```

3 实验及结果评估

3.1 实验方案

以民用热水器水温变化为例进行实验。为了检验预测模型与数据发送机制的可行性以及节能效果, 特别在同一实验环境下做 3 个实验。

实验 1 和实验 2 为了验证建模的可行性, 并获得模型预测式。实验条件为: 在同一实验环境下, 相同节点 A、B 用相同容量电池分别进行两次建模实验。具体方案为: 在同一实验环境下对 10 组同一容量、品牌、出厂日期的 7 号电池进行电压测量, 选出电压差最小的 4 组(两组留作实验 3 的电源), 任意两组作为节点 A、B 的电源; 节点每 10 min 汇报一次感知数据, 由选定的实验对象可知, 节点汇报的感知数据不必过多, 实验中选了 8 组历史数据, 根据历史数据建立预测模型, 然后融合数据发送智能化机制汇报感知数据。由于节点获取的感知数据也有一定的误差, 因此实验中的阈值设定为 1.5°C (即 ε 值为 1.5)。

实验 3 是为了对比节点基于预测模型与数据发送智能化机制与普通汇报机制的能耗。实验条件为: 节点 A、B 处在与实验 1、实验 2 相同的实验环境, 同时以相同的电池作为电源。具体方案为: 节点 A 的工作条件与实验 1、实验 2 中的相同, 随机选取了实验 1 的预测模型作为自己的预测模型, A 节点每 10 min 汇报一次感知数据, 节点 B 为普通的汇报机制, 同样也是每 10 min 汇报一次感知数据, 然后对比在此实验中节点 A、B 的生存期各为多久。

3.2 实验结果与评估

在实验 1 和实验 2 中, 当节点 A、B 用同一种电池在同一实验环境下进行实验时, 其预测模型相差不大, 节点 A、B 实验数据分别为图 3、图 4 所示。图中实心黑点为节点的预测值, 曲线为实测曲线。由图可知, 通过建模获得预测式并实现对感知结果的预测是可行的。

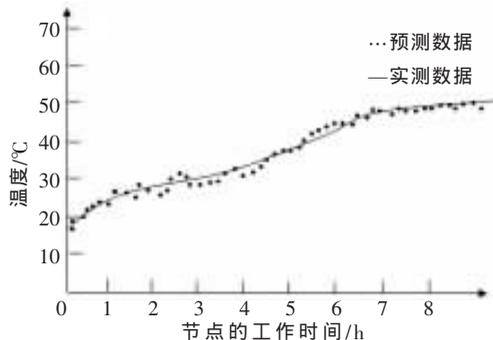


图 3 实验 1 数据与实测数据比较

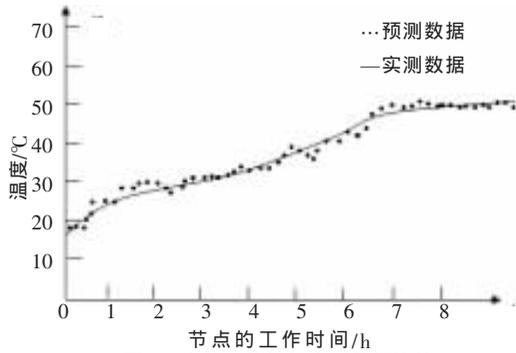


图4 实验2数据与实测数据比较

实验3主要任务是对节点的工作时间和数据发送次数进行统计,其实验数据如表1所示。由表1可知,采用预测模型的数据发送机制的节点A与采用普通汇报机制的节点B相比,能够有效延长节点寿命约4小时,占其整个工作时间(98.34 h)的3.9%。

表1 实验3测得的数据

实验3中节点	节点的工作时间/h	数据应发次数	数据实发次数
A	102.23	613	529
B	98.34	590	590

在3个实验中,感知节点的主要能耗在收/发数据、存储数据、感知数据和处理器四个模块上。节能效果不明显的原因主要有三个:(1)虽然节点减少了耗能多的发送操作,相应地增加了控制器的运算量,但没有将系统接收操作所要消耗的能量计算在内;(2)实验中所用节点没有采用低功耗处理器和传感器;(3)实验并没有建立在复杂的网络上,节点没有进行大量高频的接收、转发数据操作。然而,由于节点能量的有限性,能够只从数据发送这一个操作上延长节点4%左右的工作时间。由此可见,以此作为研究的切入点还是正确的。

基于预测模型的节点数据发送机制的研究以减少节点能耗为目标,通过定性的能耗分析,该机制在普通

节点内对数据进行处理不仅可以降低节点自身的功耗,同时又能降低簇头节点的能耗,从而降低整个系统的功耗,以延长无线传感器网络的生命周期。进一步的工作将通过仿真和实验进行定量的验证和分析,将在基于簇的复杂网络中进行实验,以验证本机制的节能成效。

参考文献

- [1] 张瑞华,贾智平.无线传感器网络基于能量效率的系统设计[J].小型微型计算机系统,2010,31(1):7-12.
- [2] HUANG C, TSENG Y. The coverage problem in a wireless sensor network[C]. Proceedings of ACMWSNA, San Diego: ACM, 2003:115-121.
- [3] CHEN B, JAMIESON K, BALAKRISHNAN H, et al. Span: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks [C].MobiCom, 2001: 85-96.
- [4] GILDEA D, JURAFASKY D. Automatic labeling of semantic roles[J]. Computational Linguistics, 2002, 28(3):245-288.
- [5] 王振龙,胡永宏.应用时间序列分析[M].北京:科学出版社,2007.
- [6] QIN L, Hu Rongqiang. Intelligent gain system based on complex and dynamical networks model [C]. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO, 2008: 2018-2022.
- [7] MOSCIBRODA T, WATTENHOFER R. Maximizing the lifetime of dominating sets[C]. WMAN, 2005:242.

(收稿日期:2010-11-10)

作者简介:

王培东,男,1953年生,教授、硕士生导师,主要研究方向:计算机控制,计算机网络,嵌入式应用技术。

李强,男,1981年生,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。