

一种无线传感器网络自适应休眠算法的研究

汪浩,张辉宜,袁志祥,陶陶

(安徽工业大学 计算机学院,安徽 马鞍山 243002)

摘要:降低无线传感器网络的能耗一直是迫切解决的问题。通过对无线传感器网络节点能耗分布情况的研究,发现对无线传感器网络节点休眠,可以减少节点收发能耗。针对降低无线传感器网络节点能耗的问题,文中基于多因素、多层次的层次分析法,设计了一种无线传感器网络自适应休眠算法(AHP休眠算法)。实验表明该算法依据信息采集需求和节点剩余能量自适应控制网络节点的休眠和收发,与传统的RS休眠和定时休眠算法对比,提高了节点能量的利用率,延长网络生命期。

关键词:无线传感器网络;自适应休眠;层次分析法;活跃度

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)08-0039-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.010

Research on an Adaptive Sleep Algorithm for Wireless Sensor Networks

WANG Hao,ZHANG Hui-yi,YUAN Zhi-xiang,TAO Tao

(College of Computer,Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002,China)

Abstract:To reduce the energy consumption for WSN is always the problem to be solved. Through research on the energy consumption distribution of node for WSN,discover that making the nodes of WSN slept can decrease the energy consumption. As for the question of reducing the energy consumption of WSN node,had constructed an adaptive sleep algorithm for WSN (AHP sleep algorithm) which had been based on the Analytic Hierarchy Process of multi-factor, multi-level hierarchy. The experiments showed that this algorithm could adaptively control network nodes in sleep or transceiver. The algorithm also could improve node energy utilization and extend the network lifetime after compared with the traditional RS sleep and timing sleep algorithm.

Key words:wireless sensor networks (WSN);adaptive sleep;AHP;degree of activity

0 引言

无线传感器网络是由若干具有感知能力,以自组网方式的节点构成的数据采集网络,具有低成本、高效率等特点,被广泛应用于各种数据采集系统中。但其在无法及时补充能量的条件下,冗余性数据发送容易使某一个或一些节点能量耗尽,致使整个网络失效。利用软件合理地控制节点休眠,减少冗余性发送,延长网络的生存周期^[1]。

文中利用层次分析法设计一种无线传感器网络节点休眠算法,该算法可感知节点信息采集需求和剩余能量的变化,使节点合理的自适应休眠,从而保证信息采集需求的同时降低网络能耗。

1 基于层次分析法的节点自适应休眠算法设计

将休眠影响因素分类、分层次,对影响因素加权并使用AHP(Analytic Hierarchy Process)法得出不同因素重要性的权值,依据权值计算节点的活跃度,由协调节点决策出哪些节点需要长期休眠,哪些是活跃节点需要保持发送^[2]。

为了描述算法,进行如下定义:

定义1:将影响网络节点休眠的因素定义为休眠因子,并将其分为采集休眠因子和属性休眠因子。

采集休眠因子包括采集到的温度、湿度、气体浓度等。属性休眠因子包括节点剩余能量、节点感知区域等。

收稿日期:2012-11-10

修回日期:2013-02-18

网络出版时间:2013-04-22

基金项目:安徽省教育自然科学基金重点项目(KJ2009A136,KJ2012Z022);安徽省教学研究项目(20100389)

作者简介:汪浩(1986-),男,硕士研究生,研究方向为计算机网络;张辉宜,硕士,教授,研究方向为嵌入式系统开发及应用、物联网。

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1553.004.html

定义 2: 定义活跃度(ξ) 为节点的活跃程度, 活跃度反应了采集休眠因子和属性休眠因子的变化。

采集休眠因子的变化量的大小反应采集需求, 变化越明显, 采集需求越强^[3], 活跃程度越高。活跃度大小与采集休眠因子的变化量成递增关系。

属性休眠因子是由节点自身能量所决定, 随着时间逐渐减少, 其变化量与节点活跃度成递减关系。

选出两个采集休眠因子(X, Y) 和一个属性休眠因子(E) 作为研究对象, 在 t 时间内融合节点感知到终端节点 X, Y 和 E 的变化决定活跃度大小, 比较活跃度后决策下一个 t 时间内节点的休眠时间。

依据上述定义, AHP 休眠算法描述如下:

Step 1 融合节点感知终端节点休眠因子的变化:

int X, Y ; // 采集休眠因子 int E ; // 属性休眠因子
int T ; // 网络初始休眠时间 int ts ; // 经过了 ts 时间

int t ; // 每隔 t 时间段计算一次活跃度 int $i = ts / t$; // 第 i 组活跃度

float $X[i][n], Y[i][n], E[i][n]$; // i 表示组, n 表示 i 组的 n 个数据, 三个因子实时数据数组

float β_{xi}, β_{yi} ; // 分别为 X 和 Y 的均值

bool flag = false; // 判断是否为一致性矩阵

将实时数据分别存入到 $X[i][n], Y[i][n], E[i][n]$ 数组中

$\beta_{xi} = (X[i][1] + X[i][2] + X[i][3] + \dots + X[i][n]) / n$; // X 的均值

$\beta_{yi} = (Y[i][1] + Y[i][2] + Y[i][3] + \dots + Y[i][n]) / n$; // Y 的均值

$C_{xi} = ((X_{i1} - \beta_{xi})^2 + (X_{i2} - \beta_{xi})^2 + (X_{i3} - \beta_{xi})^2 + \dots + (X_{in} - \beta_{xi})^2) / n$; // X 方差

$C_{yi} = ((Y_{i1} - \beta_{yi})^2 + (Y_{i2} - \beta_{yi})^2 + (Y_{i3} - \beta_{yi})^2 + \dots + (Y_{in} - \beta_{yi})^2) / n$; // Y 方差

float β_{ei} ; // 节点初始能量

$C_{ei} = ((E_{i1} - \beta_{ei})^2 + (E_{i2} - \beta_{ei})^2 + (E_{i3} - \beta_{ei})^2 + \dots + (E_{in} - \beta_{ei})^2) / n$; // 剩余能量的方差 C_{ei} 计算以节点初始能量 β_{ei} 为参照点。

Step 2 层次分析法构造权重比较矩阵。利用层次分析构造权重比较矩阵 A (依次为 X, Y, E):

$$A = (a_{kl})_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

其中 a_{kl} 表示第 k 个休眠因子对第 l 个休眠因子的相对权重。 $A_{3 \times 3}$ 满足 $a_{kl} = 1/a_{lk}$ 的特性, 休眠因子的相对权重是通过比较方差的方法确定^[4]。矩阵 A 具体构造如下:

// 影响等级: 设定 $E > X > Y$

if($C_{ei} > C_{xi}$)

$a_{13} = 1/7; a_{31} = 7;$

else

$a_{13} = 5; a_{31} = 1/5;$

if($C_{ei} > C_{yi}$)

$a_{23} = 1/9; a_{32} = 9;$

else

$a_{23} = 3; a_{32} = 1/3;$

if($C_{xi} > C_{yi}$)

$a_{12} = 5, a_{12} = 1/5;$

else

$a_{12} = 1/2, a_{12} = 2;$

if($|A| \neq 0$)

{

if($A \lambda_{\max} = \lambda_{\max} W_{\max}$ && λ_{\max} 是 A 最大特征值)

{ // $W_{\max}[]$ 是 A 最大特征值对应的特征向量

$W_{\max}[]$ 标准化;

$W_{\max}[] = (w_1, w_2, w_3);$

}

}

Step 3 判断矩阵一致性。

$CR = \frac{CI}{RI}$ // 文献[3] 中的随机指数 RI 和影响因素

个数对应关系表里的 RI, 这里 RI 取 0.58

if($CR < 0.1$)

flag = true; // A 是一致矩阵权重, 向量 W_{\max} 中 w_i 表示第 i 个休眠因子对决策结果的权重^[5]

else

{ flag = false; // A 非一致矩阵

goto Step1;

}

Step 4 计算 m 个节点第 i 组的活跃度 ξ_{im} , 根据 ξ_{im} 确定 $i + 1$ 组的休眠时间 $T_{(i+1)m}$:

if(flag == true)

{ for(int $j = 1; j < m; j++$)

$\xi_{ij} = W_{\max}[1] C_{xi} + W_{\max}[2] C_{yi} - W_{\max}[3] C_{ei}$; // 与采集因子变化递增, 剩余能量变化递减

int $v = \text{Max}(\xi_{i1}, \xi_{i2}, \xi_{i3}, \dots, \xi_{im-1}, \xi_{im})$; // 选出最大活跃度节点号

$T_{(i+1)v} = T$; // $(i + 1)$ 组的 v 节点是最大活跃度节点, 保持初始休眠时间

for(int $j = 1; j < m; j++$)

{ if($j \neq v$)

$T_{(i+1)j} = (\xi_{iv} - \xi_{ij}) * T$; // 非最大活跃度节点的休眠时间

```
}  
}  
if(完成下一次  $t$  时间段的采集)  
goto Step1
```

2 自适应休眠算法在监控系统中的评测

2.1 评测系统设计

采用 5 个 ZigBee 无线传感器模块构成自组网络, 1 个模块作为 Coordinator(协调节点), 4 个作为 End Device(采集节点)。考虑保持初始休眠时间的额定时间间隔休眠算法^[6]、RS 随机休眠算法和 AHP 休眠算法三种情况。休眠算法选择流程如图 1 所示。

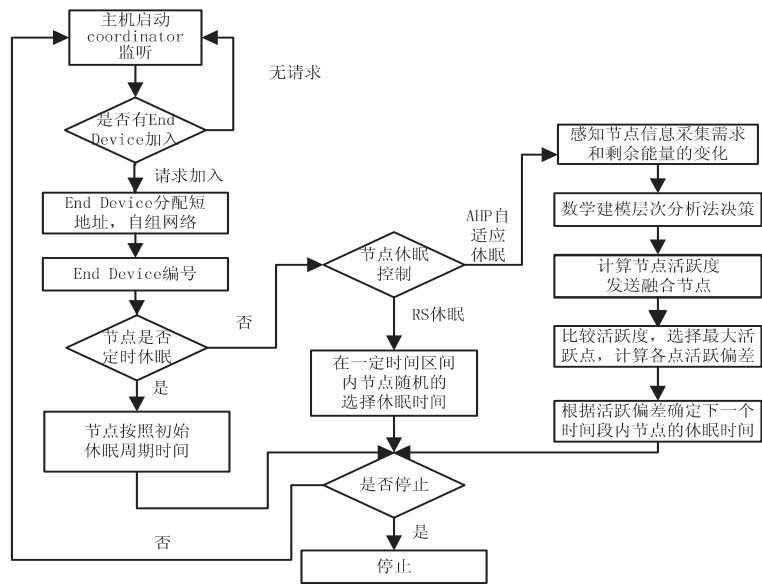


图 1 环境参数采集系统的休眠算法选择流程图

2.2 评测数据分析

将温度、湿度作为采集休眠因子, 可表示节点剩余能量^[7]的节点外电压作为属性休眠因子。采集时间为 $10t$ (依据 AHP 休眠, 每隔 t 时间计算一组活跃度, 这里 t 为 1200s), 网络初始休眠时间 T 为 1s。

将采集到的数据依据 AHP 休眠算法计算出各节点的活跃度 ξ , 如图 2 所示。

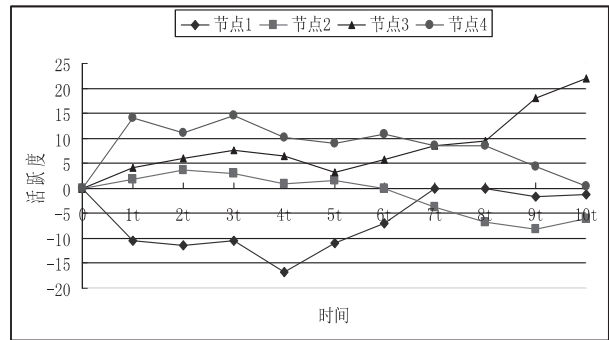


图 2 节点活跃度随时间变化图

依据图 2 中各节点每组活跃度, 按照 AHP 休眠算法, 确定下一组时间段的休眠时间 $T_n(s)$, 即根据 0 ~

$10t$ 时间内 10 组活跃度分别确定 $1t \sim 11t$ 10 个 t 时间内的休眠时间如图 3 所示。

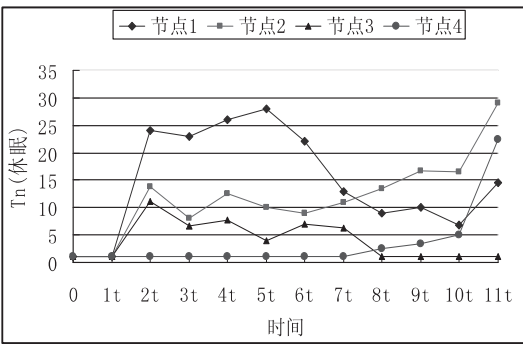


图 3 AHP 算法下节点休眠时间图

RS 休眠算法中的 4 个节点的休眠时间为 $T_s = \text{Random}(S)$, Random 为随机函数。为了与 AHP 休眠算法比较, 将随机休眠时间区域 S 范围覆盖到所有 AHP 休眠算法时节点的休眠时间, 即 S 为 $[1s, 30s]$ 。

使用额定时间间隔休眠算法, 节点保持初始休眠时间, 每秒钟休眠一次(忽略发送时间), 即每秒发送一次。

依据上述三种休眠算法下各节点的休眠时间, 节点 1 ~ 4 在不同算法的发送功耗, 发送次数比较图如图 4 所示。

由图 4 可以看出:

节点 1 的活跃度在 $6t$ 之前是 4 个节点活跃度中最低的节点, AHP 休眠算法

下发次数低。

节点 2 的活跃度相对较低, 总体呈降低趋势, AHP 休眠算法下的发送次数也是降低趋势。

节点 3 在 $7t$ 后为最大活跃度节点, 根据 AHP 休眠算法, $8t$ 之后 3 号节点保持初始休眠时间 T , 与额定时间间隔休眠算法的发送次数相等。

节点 1 ~ 3 在 $1t \sim 11t$ 时间段 AHP 休眠算法的总发送次数均小于 RS 和额定时间休眠算法的总发送次数。

节点 4 在 $7t$ 时刻前是最大活跃度节点, 也是采集需求大和剩余能量多的节点。为了满足需求, 4 号节点 AHP 休眠算法下的总发送次数要高于 RS 休眠算法的总发送次数。

可见 AHP 休眠满足采集需求大的节点多发送、低剩余能量的节点多休眠的要求, 与 RS 和额定时间间隔休眠相比能更有效地利用节点能量, 达到节点节能的目的。

设定每次发送数据长度 L 为 1 个字节, n 为各节点在 $1t \sim 11t$ 时间内不同休眠算法下的总收发次数, 根

据 Zigbee 节点发送能耗公式^[8~10]: $P = 1.05514nL + 25.25540$ 计算出三种休眠算法下的发送功耗 P 如图 5 所示。

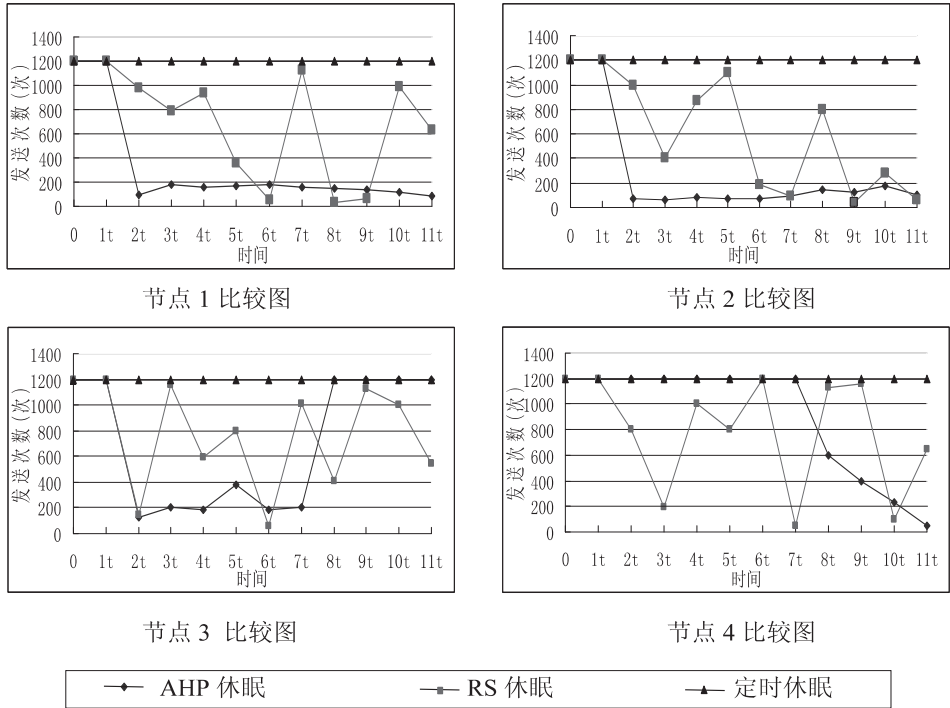


图 4 4 个节点不同算法发送次数比较图

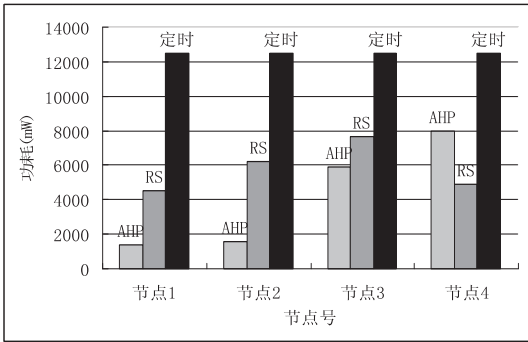


图 5 三种休眠算法下发送功耗比较图

实验结果表明:AHP 休眠算法依据节点的活跃度自适应控制休眠时间,比 RS 休眠和定时休眠算法更有效地利用节点能量。

3 结束语

文中针对无线传感器网络节点的主要能耗是收发能耗的特点,通过对节点休眠降低网络能耗,利用层次分析法感知节点实际采集需求和自身剩余能量的变化,决策网络节点的休眠时间,形成了无线传感器网络的 AHP 休眠算法。实验表明 AHP 休眠算法比额定时间间隔休眠算法^[11]和 RS 休眠算法^[12,13]更高效、更节能。

参考文献:

[1] 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.

[2] Wu Xiaoling, Cho Jinsung, d'Auriol J, et al. Sleep Nodes Scheduling in Cluster-based Heterogeneous Sensor Networks

Using AHP[C]//Proc. of Third International Conference on Embedded Software and Systems. [s. l.]: [s. n.], 2007:437-444.

[3] 毛建兵,田永春,姜永广. 监测无线传感器网络休眠调度算法[J]. 通信技术, 2012, 45(5):36-39.

[4] 朱建军. 层次分析法的若干问题研究及应用[D]. 沈阳:东北大学, 2005.

[5] 江文奇. 一种判断矩阵的不一致性调整方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(9): 2129-2132.

[6] Yuan Zhuxiu, WangLei, Shu Lei, et al. A Balanced Energy Consumption Sleep Scheduling Algorithm in Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of IWCMC. [s. l.]:[s. n.], 2011:831-835.

[7] 吴俊君,邓军,詹泳. 基于电池剩余电量的动态电压调节算法的改进[J]. 电子技术应用, 2008, 34(2): 30-33.

[8] 牛星,李捷,周新运,等. 无线传感器网络节点能耗测量及分析[J]. 计算机科学, 2012, 39(2): 84-87.

[9] 牛星. 无线传感器网络节点能耗测量设备设计与实现[D]. 开封:河南大学, 2011.

[10] Milenkovic A, Milenkovic M, Jovanov E. An Environment for Runtime Power Monitoring of Wireless Sensor Network Platforms[C]//Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium. Nebraska; [s. n.], 2005:406-410.

[11] Deng J, Han Y S. Scheduling Sleeping Nodes in High Density Cluster Based Sensor Networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2005(10): 825-835.

[12] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. [s. l.]: [s. n.], 2002: 1567-1576.

[13] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks[J]. Computer Engineering & Science, 2002(5): 48-54.

一种无线传感器网络自适应休眠算法的研究

作者：[汪浩](#)，[张辉宜](#)，[袁志祥](#)，[陶陶](#)，[WANG Hao](#)，[ZHANG Hui-yi](#)，[YUAN Zhi-xiang](#)，[TAO Tao](#)

作者单位：[安徽工业大学 计算机学院, 安徽 马鞍山, 243002](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(8)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201308010.aspx