

基于熵权法的 WSNs 性能指标权重决策方法^{*}

程小辉, 梁启亮, 何军权

(桂林理工大学 信息科学与工程学院 广西 桂林 541004)

摘 要: 针对无线传感器网络(WSNs)性能评价中多元指标权重难以确定的问题,提出了利用熵权法对多评价指标因子赋权的权重决策方法,建立熵权法权重决策模型对网络性能指标进行客观评价。运用 Opnet 网络仿真软件,通过改变节点规模获取不同网络性能参数数据样本。数据分析表明:信息熵能够客观准确地反映各指标贡献信息量的大小,基于熵权的权重决策方法能够客观反映不同网络性能指标的相对重要程度。同时,该方法灵活性好,适应性强,可广泛地应用于其他类型网络的性能指标重要程度的评估。

关键词: 无线传感器网络; 熵权; Opnet; 网络性能指标

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-9787(2013)10-0044-04

Method for weight decision of WSNs performance index based on entropy weight method^{*}

CHENG Xiao-hui, LIANG Qi-liang, HE Jun-quan

(School of Information Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Aiming at multivariate index weight is difficult to be determined in wireless sensor networks(WSNs) performance evaluation, propose a scheme using entropy weight method to determine multivariate index weight and establish a weight decision-making model of entropy weight method to make an objective evaluation on network performance index. Using Opnet network simulation software, obtain data samples of different network performance parameters by changing node size. Data analysis shows that information entropy can objectively and accurately reflect amount of information provided by each index, and the entropy weight-based weight decision-making method can objectively reflect the relative importance of different network performance index. Meanwhile, the method has good flexibility and adaptability, and can be widely applied for evaluation of importance of performance index of other types of networks.

Key words: wireless sensor networks(WSNs); entropy weight; Opnet; network performance index

0 引 言

无线传感器网络(WSNs)技术作为物联网的关键技术之一^[1],在家庭自动化、工业自动化、智能家居、智能交通系统及综合抄表系统中得到了很好的应用,具有十分广阔的前景。在 WSNs 中应用较为广泛的就是 Zig Bee 无线技术,该技术适用于通信数据量不大,数据传输速率相对较低,分布范围较小,对数据的安全可靠有一定要求,而且要求成本和功耗非常低,容易安装使用的场合^[2]。

目前,针对 WSNs 的性能指标没有统一标准,不同的应用环境中,WSNs 所表现出来的网络性能也有很大不同,必须提出相应的网络性能指标分析评价方法。文献[3]提出了从全局性或整体性角度评估网络性能;文献[4]使用加

权平均方法计算路径性能评价;文献[5]采用相对比较法和变异系数法结合对网络性能进行综合评价。但上述文献对指标进行加权计算均是从主观角度出发给出性能指标的加权值,这会导致评价结果会因为人为的主观因素而受影响。

为了科学地评估 WSNs 中的性能指标,避免采用主观方法确定指标权重的不足,本文引入熵权法确定不同网络性能指标的权重,建立熵权法权重决策模型,充分反映网络性能指标权重确定的客观性和准确性。通过 Opnet 网络仿真获取指标参数样本,建立基于熵权法的 WSNs 性能评估模型实例。数据分析表明,该方法可操作性强,能够准确地反映各网络性能指标贡献信息量的大小,同时又客观真实

收稿日期: 2013-03-12

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61262075); 广西高等学校重大科研项目(201201ZD012); 广西研究生教育创新计划资助项目(YCSZ2012084)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

的反映出不同网络性能指标的相对重要程度。

1 熵权法概述

1.1 信息熵定义

德国物理学家 Rudolf Clausius 于 1850 年首次提出熵的概念,用来表示任何一种能量在空间中分布的均匀程度,能量分布越均匀,熵就越大。1948 年,Shannon C E 将熵的概念引入信息论中,从而产生了信息熵^[6]。在信息论中,熵又被称为平均信息量,是信息的一个度量。信息熵的定义如下:

假设不确定随机事件 a , 它有 n 个相互独立的结果 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, 每一结果出现的概率分别为 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, 且 $0 \leq p_i \leq 1, i=1, 2, \dots, n; \sum_{i=1}^n p_i = 1$ 。Shannon C E 引入函数

$$H(a) = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i.$$

作为事件 a 不确定性的度量 k 为一个大于 0 的恒量; $H(a)$ 即被称作事件 a 的信息熵。

1.2 熵权法

利用熵的概念确定指标权重的方法称为熵权法。熵权法是一种客观的赋权方法,它是利用各指标的熵值所提供的信息量的大小来决定指标权重的方法^[7]。其出发点是根据某同一指标观测值之间的差异程度来反映其重要程度,如果各被评价对象的某项指标的数据差异不大,则反映该指标对评价系统所起的作用不大。熵权具有特殊的意义,它并不是评估问题中某指标实际意义上的重要性系数,而是在给定评价对象集后,各评价指标值确定的情况下,各指标在竞争上的相对激烈程度系数。熵权的大小与被评价对象直接相关,从信息角度考虑,熵权表示该指标在该问题中贡献了多少有用信息^[8]。

由上述可知,熵值越小时,熵权越大,表明相对应的评估指标信息量越大,该指标就越重要;反之,指标的熵值越大,熵权越小,该指标越不重要。可以客观地得出评价指标权重的大小。

将熵权法引入 WSNs 性能指标评价中,有以下优点:用熵权法赋权可以避免各评价指标权重的人为干扰因素,使评价结果更符合实际;通过对各指标熵值的计算,可以衡量出指标信息量的大小,从而确保所建立的指标性能反映绝大部分的原始信息。

2 熵权法权重决策模型

1) 形成决策矩阵

设参与评价的对象集为 $M = (M_1, M_2, \dots, M_m)$, 指标集为 $D = (D_1, D_2, \dots, D_n)$, 评价对象 M_i 对指标 D_j 的值记为 x_{ij} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$), 则形成决策矩阵 X 为

$$X = \begin{pmatrix} D_1 & D_2 & \cdots & D_n \\ M_1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ M_2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ M_m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}.$$

2) 标准化决策矩阵

为了消除各指标量纲不同对方案决策带来的影响,或者处理一些指标值为负的决策问题,对决策矩阵 X 进行标准化处理,从而形成标准化矩阵 $V = [v_{ij}]_{m \times n}$ 。根据指标的性质,将指标分为两类:一类是指标值越大表明性能越优,称为效益型指标;另一类是指标值越大表明性能越差,称为成本型指标。

标准化处理时根据指标性质,采用相应的标准化形式:

对效益型指标

$$v_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j}.$$

对成本型指标

$$v_{ij} = \frac{\max x_j - x_{ij}}{\max x_j - \min x_j},$$

式中 v_{ij} 为 x_{ij} 归一化后的值; $\max x_j, \min x_j$ 分别为第 j 个指标的最大值和最小值。不难看出,经标准化后 $0 \leq v_{ij} \leq 1$ 。

3) 计算第 j 项指标下的第 i 个评价对象的特征比重

对于某一指标 j , v_{ij} 的值差异越大,表明该项指标对于被评价对象的作用越大,即该项指标提供给被评价对象的有用信息越多。根据熵的定义,信息的增加意味着熵的减少,熵可以用来度量这种信息量的大小^[9]。

记第 j 项指标下、第 i 个评价对象的特征比重为 p_{ij} , 则

$$p_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sum_{i=1}^m v_{ij}}.$$

因为 $0 \leq v_{ij} \leq 1$, 所以 $0 \leq p_{ij} \leq 1$ 。

4) 计算第 j 项指标的熵值 e_j

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}.$$

当 $p_{ij} = 0$ 或者 $p_{ij} = 1$ 时,认为 $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

5) 计算第 j 项指标的差异性系数 d_j

观察熵值的计算公式,对于某一项指标 D_j , v_{ij} 的差异越小, e_j 越大。当各被评价对象第 j 项指标值全部相等时, $e_j = e_{\max} = 1$ 。根据熵的概念,各被评价对象第 j 项指标值差异越大,表明该指标反映的信息量越大。因此,定义差异性系数 d_j

$$d_j = 1 - e_j.$$

d_j 越大,该指标提供的信息量越大,越应给予较大的指标权重。

6) 确定各指标的熵权

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{k=1}^n d_k}, \quad j=1, 2, \dots, n.$$

3 WSNs 性能评价方法

3.1 网络性能评估指标选取

在评价网络性能时,某些指标同时考虑时,会偏重某些方面,比如:单项延迟与往返延迟;而有一些指标则不需要考虑,如连通性。因此,在选取性能评价指标时需考虑的选取原则^[10]有:全面性:选取测量指标无需很多,但要尽可能

全面;易测性:选取的测量指标应易于测量;业务性:从用户的角度考虑业务的所有方面,指标要能反映承载业务的特性。经过分析,本文选取 MAC 延时 (delay)、吞吐量 (throughput) 和丢包 (packets dropped) 这 3 个基本而重要的测量指标。指标的简单介绍如下:

延时:反映了通信发送与接收的时间间隔,在对时间敏感的应用中,延时太大会严重影响通信质量。

吞吐量:指单位时间内传输的无差错的数据量。吞吐量是 Zig Bee 网络的一项重要指标,直接反映了网络工作运行的效率。

丢包:数据在网络中是被分成一个个数据包传输的,每个数据包中有表示数据信息和提供数据路由的帧。而数据包在一般介质中传播时总有一部分由于各种原因而丢失,对整体网络造成影响。

在选取的网络性能指标中,往往延时越大,丢包越多,路径上的性能越差;相反,吞吐量越大,路径上的性能越好。因此,在熵权法权重决策模型中吞吐量是效益型指标,而延时和丢包是成本型指标。

3.2 网络性能指标样本获取

WSNs 网络多应用于工业环境中,要从实际网络运行数据中获取能反映网络在不同运行状态下的性能指标参数比较困难,但网络仿真的方法可以模拟实际网络运行的不同状态,能够更为方便快捷地获取网络在不同状态下的网络性能指标样本值。所以,本文采用 Opnet 仿真的方法^[11]获取在 WSNs 技术中应用较多的 Zig Bee 网络仿真实例,得到在不同节点规模情况下的上述网络性能指标样本值,根据这些样本参数运用熵权法权重决策模型计算网络性能指标之间的相对权重。

4 Opnet 仿真实例分析

4.1 网络性能指标样本获取方法

采用网络仿真软件 Opnet 构建 Zig Bee 网络仿真环境来获取样本数据。该实验使用 Zig Bee 网络在实际应用中应用较多的 Mesh 型网络拓扑结构,通过改变节点规模建立 11 个网络场景模型。为保证取得性能指标的公正性,将节点个数由小规模到中等规模,最后再到大规模,即采用平滑过渡的方法逐渐加大节点规模。为方便对比分析,各个仿真场景除节点规模设置不同之外,其余参数属性设置均相同,仿真属性参数设置如表 1,其中的场景之一如图 1。仿真时间设为 30 min,获取不同场景下的 MAC 延时、吞吐量和丢包的值。最终获得的网络性能样本值如表 2 所示。

表 1 仿真属性参数值设置

Tab 1 Set of simulation attributes parameters values

属性	发射功率	接收灵敏度	传输频段	信标模式	数据速率
参数值	0.05	-85	2.4 GHz	Disabled	自动

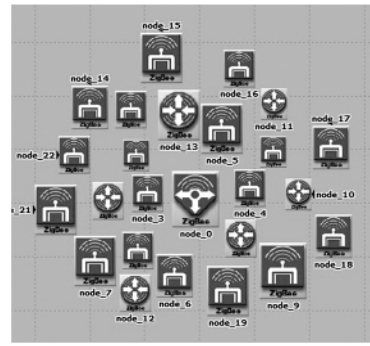


图 1 Opnet 仿真场景

Fig 1 Opnet simulation scenarios

表 2 网络性能样本值统计

Tab 2 Sample values statistics of network performance

节点规模 (个)	延时 (s)	丢包 (packets)	吞吐量 (bits/s)
10	0.008 915	17.978 3	17 953.90
25	0.011 333	71.909 1	47 796.48
40	0.012 944	197.755 6	63 251.34
55	0.013 888	377.533 3	70 823.15
70	0.014 465	557.234 6	66 622.48
80	0.018 303	629.186 0	77 485.95
90	0.015 555	772.988 2	74 098.99
100	0.019 115	934.776 5	70 932.60
110	0.016 995	1 006.682 0	83 228.23
120	0.016 718	1 222.437 0	61 162.07
130	0.015 968	1 456.138 0	57 377.68

4.2 数据分析

从表 2 网络性能指标样本统计中可以看出:在节点规模较小的情况下,网络时延和丢包的值变化幅度相对较小,吞吐量性能参数值在节点规模稳定后其变化也相对趋于稳定;随着节点规模的进一步增大,各个网络性能参数值都出现了较大幅度的变化。也说明了这些网络性能参数可以真实地反映出网络的运行状况。

仅从表 2 中的数据很难判断出随着节点规模的增大,网络性能指标幅度的变化大小和各指标的相对重要程度。所以,在获取网络性能样本值后,根据前文提出的熵权法权重决策模型,计算得出各性能指标的熵值和熵权,如表 3 所示。

表 3 网络性能指标的熵值和熵权值

Tab 3 Entropy and entropy weight of network performance index

性能指标	熵值	熵权值
延时	0.888 2	0.457 1
丢包	0.915 6	0.345 2
吞吐量	0.951 7	0.197 6

通过信息熵的方法可以反映网络性能指标幅度变化的大小,变化差异较大的表明该网络性能指标对节点规模的

改变较为敏感,可以准确地反映出网络性能的变化。从表 3 可知,网络时延和丢包的熵值较小,吞吐量的熵值较大。同时,通过信息熵计算得到熵权值,可以看出:在节点规模由小到大平滑过渡时,网络时延和丢包权重占主要地位,尤其是网络时延,对网络性能的综合影响影响最大。所以,在实际工程应用中,当需要扩充网络节点规模时,首先必须重点考虑网络延时给整体网络性能带来的影响,然后再进一步考虑丢包和吞吐量性能指标。

5 结 论

针对 WSNs 网络性能评价中多元指标权重难以确定的问题,以及网络性能指标评估中大多采用主观方法确定指标权重的不足,将熵值理论应用与网络性能评估中,建立基于熵权法的 Zig Bee 网络性能指标权重决策模型,从网络性能指标样本本身计算权重系数,为 WSNs 网络性能指标权重的确定建立了一定的理论基础,大大减少了评估过程中人为主观因素的影响。实验结果表明:信息熵值能够客观地准确的反映各指标贡献信息量的大小,基于熵权的权重决策方法能够反映出不同网络性能指标的相对重要程度。

参考文献:

- [1] 张新程. 物联网关键技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
- [2] Farahani Shahin. ZigBee wireless networks and transceivers[M].

Burlington: Elsevier Ltd, 2008.

- [3] 蒋序平. 网络性能综合评估方法 IEMONP 的设计和实现[J]. 海军工程大学学报, 2006, 18(5): 74-78.
- [4] 张冬艳, 胡铭曾, 张宏莉. 基于测量的网络性能评价方法研究[J]. 通信学报, 2006, 27(10): 74-79.
- [5] 周 婵, 李 昕. 工业无线传感器网络性能综合评价研究[J]. 计算机工程, 2010, 36(16): 82-87.
- [6] Shannon C E. Prediction and entropy of printed English[J]. Bell System Technical Journal, 1951, 30(1): 50-64.
- [7] 何逢标. 综合评价方法的 Matlab 实现[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2010.
- [8] 章 穗, 张 梅, 迟国泰. 基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J]. 管理学报, 2010, 7(1): 34-42.
- [9] 郭亚军. 综合评价理论方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [10] 罗赞骞, 夏靖波, 陈天平. 基于仿真和熵权的 VOIP 业务网络性能评价权重确定方法[J]. 海军工程大学学报, 2009, 21(5): 40-44.
- [11] 陈 敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

作者简介:

程小辉(1961-), 男, 江西樟树人, 博士, 教授, 主要从事嵌入式系统、计算机网络技术、物联网等方向的研究。

(上接第 43 页)

3 结 论

本文研究了以红菲绕咻银为活性物质, 以四十二烷基溴化铵为添加剂, 以邻硝基苯苯醚为增塑剂, 以 PVC 为支持体的硝酸根离子选择电极。红菲绕咻银在添加剂的作用下表现出较好的电子转移能力; 由最佳的膜比例所组成电极表现出较好的能斯特响应。在 pH 为 2.5~9.5 的范围内, 电极能斯特响应线性范围为 $10^{-5} \sim 10^{-1}$ mol/L, 斜率为 -54 mV/dec, 最低的检测下限是 3.7×10^{-6} mol/L。该电极的响应时间均在 1 min 之内, 重复性较好。相对于水中的其他常见阴离子 ($\log K_{ij}$: NO_2^- , -1.96; Cl^- , -2.2; F^- , -3.8; PO_4^{3-} , -3.67; SO_4^{2-} , -3.62; CO_3^{2-} , -3.07), 该电极对硝酸根表现出较好的敏感性和选择性。

参考文献:

- [1] 董敬锋, 刘锦文. 太湖蓝藻事件探析[J]. 新西部, 2012, 2(6): 37-38.
- [2] 刘建坤, 朱家平, 郑荣华. 水中硝酸根测定方法研究进展[J]. 工业水处理, 2010, 30(3): 14-15.
- [3] Ali Reza Asghari, Mohammad Kazem Amini, Hassan Rahimi Mansour, et al. A tetra-coordinate nickel(II) complex as neutral carrier for nitrate-selective PVC membrane electrode[J]. Talanta, 2003, 61(4): 557-563.

2003, 61(4): 557-563.

- [4] Mazloum Ardakani M, Salavati-Niasari M, Jamshidpoor M. Selective nitrate poly(vinyl-chloride) membrane electrode based on bis(2-hydroxyacetophenone) ethylenediimine vanadyl(IV) [J]. Sensors and Actuators B, 2004, 101: 302-307.
- [5] Kong Thoo Lin P, Araujo A N, Montenegro M C, et al. New PVC nitrate-selective electrode: Application to vegetables and mineral waters[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(2): 211-215.
- [6] Gonzalez-Bellavista A, Macanas J, Munoz M, et al. Polysulfone as an alternative material to PVC in the design of ion-selective electrodes[J]. Sensors and Actuators B, 2006, 115(2): 691-696.
- [7] Andreadakis G E, Moschou E A, Matthaiou K, et al. Theoretical and experimental studies of metallated phenanthroline derivatives as carriers for the optimization of the nitrate sensor[J]. Analytica Chimica Acta, 2001, 439(2): 273-280.
- [8] Hassan S S M, Sayour H E M, Al-Mehrezi S S. A novel planar miniaturized potentiometric sensor for flow injection analysis of nitrates in wastewaters, fertilizers and pharmaceuticals[J]. Analytica Chimica Acta, 2007, 581(1): 13-18.

作者简介:

宋小娟(1988-), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要研究方向为电化学传感器。