

熵权法和云模型下的物联网鲁棒性评估方法

Evaluation Method Based on Entropy Weight and Cloud Model
for Robustness of IOT

任 敏 胡 彧

(太原理工大学物理与光电工程学院 ,山西 太原 030024)

摘 要: 针对物联网系统性能的评价一直没有统一的标准,提出物联网鲁棒性的概念并对其性能进行评估,同时选取系统性能指标。采用熵权法确定系统各指标的权重,并采用云模型理论实现评估指标数据和评语之间的不确定映射。仿真试验结果表明,利用云模型的评估方法可以较好地描述物联网鲁棒性的优劣,从而实现对物联网系统性能的整体评估,为物联网系统性能的评估提供了一种有价值的新思路。

关键词: 物联网 鲁棒性 云模型 熵权 评估模型

中图分类号: TP393 文献标志码: A DOI: 10.16086/j.cnki.issn1000-0380.201505015

Abstract: The evaluation of the performance of Internet of things (IOT) is lack of uniform standard, aiming at this condition, the concept of robustness for IOT is proposed and the evaluation of performance is conducted, meanwhile the systematic performance indexes are selected. The weight of each index is determined by using entropy weight method; and the uncertainty mapping between index evaluation data and commentary is implemented by using cloud model theory. The result of simulation experiment indicates that the evaluation method using cloud model can well describe the pros and cons of the robustness of IOT, this provides new valuable ideas for performance evaluation of IOT systems.

Keywords: Internet of things Robustness Cloud model Entropy weight Evaluation model

0 引言

进入 21 世纪以来,物联网(Internet of things, IOT)技术取得了飞速的发展,其已经在农业、工业、医疗、环境、军事等传统领域取得广泛应用。而伴随大量物联网系统的产生却引发了很多问题,例如物联网系统工作的稳定性、安全性、适应性等。这些问题都对物联网系统的正常工作造成了影响,这些都是物联网系统亟待解决的关键问题^[1]。而这些问题的产生归根到底是因现在无论国际还是国内对物联网系统性能的评估没有一个可行的标准。

针对这一问题,本文将鲁棒性引入物联网系统中,并提出物联网鲁棒性的概念。因为从系统论的角度看,物联网可以被看作是一个广义的复杂控制系统,因此物联网系统就会受到不同的干扰,这时鲁棒性就是物联网网络性能评价的一个重要方面,通过对鲁棒性的研究以达到对物联网系统的评估。该方式为物联网系统性能的评估提供了一种新思路。

1 物联网的鲁棒性

鲁棒性在不同的语境下具有不同的含义^[2],根据物联网系统的结构和特点,对物联网的鲁棒性做出如下定义:物联网的鲁棒性是指当物联网系统受到外部或内部因素干扰或是系统模型自身造成的干扰因素时,能够保持系统正常工作的能力。采用一个简单的式子表示如下:

$$P = \sum_{i=1}^{k_1} \omega_a L_i + \sum_{m=1}^{k_2} \omega_b R_m + \sum_{n=1}^{k_3} \omega_c B_n \quad (1)$$

式中: P 为系统的鲁棒性; L 为外部干扰因素; k_1 为外部因素的个数; $a = 1, 2, 3, \dots$; R 为内部干扰因素; k_2 为内部因素的个数; $b = 1, 2, 3, \dots$; B 为系统模型造成的干扰因素; k_3 为系统模型干扰因素的个数; $c = 1, 2, 3, \dots$ 。

这个定义只是从物联网结构的角度进行分析,下面我们就将可能的影响因素进行分析比较。

对于这 3 方面的分析比较,我们主要是依靠以下 3 个原则进行性能指标选取^[3]。

① 整体性: 选取的测量指标要能反映系统的整体性能。

② 易测性: 指标数据容易测量。

③ 实用性: 从用户使用方面考虑,指标能反映系统在实际应用中的特性。

山西省自然科学基金资助项目(编号: 2012011013-5)。

修改稿收到日期: 2014-12-16。

第一作者任敏(1989-),男,现为太原理工大学测控技术研究所控制工程专业在读硕士研究生;主要从事物联网技术和智能控制的研究。

综上所述,最终选取以下性能指标。

- ① 系统工作频段:指系统在不同工作状态下处于不同的工作频段。
- ② 节点数:整个系统所存在的节点数量。
- ③ 发包数:发送的字节。
- ④ 采集信号成功率:传感器对外界信号采集的成功率。
- ⑤ 丢包率:丢包数据所占的百分比。
- ⑥ 吞吐量:数据的吞吐量越高,系统工作越好。
- ⑦ 网络通信成功率:信号在系统中传输的成功率。
- ⑧ 节点失效率:失效节点占总节点的百分比。
- ⑨ 定位精度:传感器对信号的定位的成功率。
- ⑩ 时延:信号传输过程中所需要的时间。

2 物联网鲁棒性评估模型

2.1 云模型

由于物联网的鲁棒性并没有确切地规定具体的界限。除此之外,鲁棒性的评测是在一定参数计算的基础上的,而且所提供的数据在不同时间、不同机器、不同技术又有一定的不确定性,即随机性和模糊性。随机性指的是发生的概率,模糊性指的是边界的亦此亦彼性。针对物联网鲁棒性的这一特点,我们决定用“云”理论来构建评估模型。“云”理论^[4]是由李德毅老师在20世纪90年代初期开创的,是对传统的隶属函数概念的扬弃。利用云可以实现定量和定性概念的映射。

云的数字特征如下。

- ① 期望 Ex :表示最能够代表定性概念的数值。
- ② 熵 En :是用来衡量随机性的定性概念,表示定性概念的不确定性度量。
- ③ 超熵 He :指的是熵的熵,也就是熵的不确定性的度量。

设 U 是一个用精确数值表示的定量论域, U 上对应的定性概念 A ,若 x 是论域 U 中的任意一个定量值,且 x 是定性概念 A 的一次随机实现, x 对 A 的隶属度 $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 是具有稳定倾向的随机数,则 x 在论域

U 上的分布是云。云是由许多云滴组成的,每一个 x 称为一个云滴。

正态云是最重要的云模型。用期望 Ex 、熵 En 、超熵 He 这3个参数可以表示一维正态云的数字特征。记为 $C(Ex, En, He)$ 。这种正态云的方法表现了定性知识的定量特性,其主要作用的区域为 $[Ex - 3En, Ex + 3En]$ 。

正向云算法的输入是定性概念的数字特征,生成以 En 为期望值、 He 为方差的一个正态随机数 $En' = \text{NORM}(En, He)$,再生成以 Ex 为期望值、 En' 为方差的一个正态随机数 $x_i = \text{NORM}(Ex, En')$ 。通过以上步骤计算出 x_i 的隶属度 $C(x_i) = e^{\frac{-(x_i - Ex)^2}{2(En')^2}}$ 。

2.2 基于熵权的权重确定方法

为了减少确定权重中的主观因素的影响,在确定指标权重时选用熵权法确定指标权重的大小。因为不同指标所携带的信息量是不同的,用熵来表示对决策的影响程度,用信息熵的大小来衡量携带信息的大小。因此,用熵权的方法计算权重的相对大小。其主要计算步骤如下^[5]。

- ① 设 n 个指标、 m 个评估对象的数字矩阵 P ,即:

$$P = (p_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

- ② 各个不同量纲的量不必进行无量纲化,确定评估指标的熵值:

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \left(\sum_{j=1}^n f_{ij} \right) \quad (3)$$

$$\text{式中: } f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}}.$$

- ③ 计算指标的差异性系数和指标权重。差异性系数为 $e_i = 1 - H_i$,第 i 个指标的权重为:

$$\omega_i = \frac{e_i}{\sum_{i=1}^m e_i} \quad (4)$$

由此可见,熵值越小,熵权越大,表明相应的指标携带信息量大,权值越大,指标对系统的影响就大,该指标就越重要;反之,权值越小,指标对系统的影响越小,该指标就越不重要。使用熵权法可以客观地得出指标权重的大小。各指标权重如表1所示。

表1 指标权值
Tab.1 Weights of indexes

指标	频段	节点数	发包	采集信号成功率	丢包率	吞吐量	网络通信成功率	节点失效率	定位精度	时延
权重	0.184 0	0.034 0	0.096 5	0.000 4	0.401 0	0.036 0	0.000 1	0.016 6	0.000 3	0.231 2

从表1可知,影响物联网系统最重要的3个指标分别是:频段、丢包率、时延。

2.3 物联网鲁棒性综合评估模型

由于物联网系统鲁棒性的不稳定性,所以利用传统的评估方法对系统的鲁棒性不能做出准备的评估。因此利用云模型建立物联网性能综合评估理论和模型,比传统的评估方法更能准确地反映实际情况。具体步骤如下^[6-7]。

- ① 建立评估对象的因素矩阵 $P = [x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n]$;
- ② 建立评语论域 $V = [v_1 \ v_2 \ \cdots \ v_n]$;
- ③ 采用熵权法求指标权重 $W = [\omega_1 \ \omega_2 \ \cdots \ \omega_n]$;
- ④ 单因素指标评价法,不同的因素论域 P 中会产生不同的 V ,也就是不同的指标可以用不同的评语评价,这是与传统的综合评价方法的主要区别,也是基于

云模型综合评价的优势所在。

如何求单因素的评价集就成为解决问题的关键。需要有每个因素的数据,利用云理论实现对单个因素的数据离散化,再通过云变换算法实现定量数据到定性概念的转化,从而获得每个因素的评价集。下面将对以上性能指标进行期望修正。

3 试验仿真

根据上面的权重分析,我们从影响物联网系统鲁棒性的 10 个指标中选取权重最大的 3 个,分别是:频段、丢包率、时延。

- ① 性能指标数据如表 2 所示。

表 2 性能指标数据
Tab. 2 Data of performance indexes

频段 /MHz	节点数	发包/B	采集信号成功率	丢包率	吞吐量 / (bit · s ⁻¹)	网络通信成功率	节点失效率	定位精度	时延/s
2 450	8	1 024	0.982 51	0.013 815	34 701.45	0.984 91	0.004 712	0.981 9	0.020 730
915	12	512	0.974 76	0.002 985	22 978.51	0.972 59	0.002 935	0.978 1	0.070 175
915	12	1 024	0.959 47	0.002 895	35 421.90	0.988 74	0.003 521	0.979 2	0.069 815
2 450	12	512	0.961 24	0.003 571	41 370.85	0.959 29	0.004 117	0.975 9	0.031 200
915	8	512	0.917 91	0.002 750	22 770.90	0.967 71	0.003 471	0.981 1	0.071 810
2 450	12	1 024	0.924 57	0.012 215	28 449.50	0.982 95	0.003 271	0.970 4	0.020 150
915	8	1 024	0.942 25	0.004 171	28 175.77	0.972 75	0.004 071	0.980 1	0.070 572
2 450	8	512	0.937 40	0.003 314	25 417.81	0.981 79	0.003 817	0.969 4	0.021 815

物联网鲁棒性等级的划分如图 1 所示。

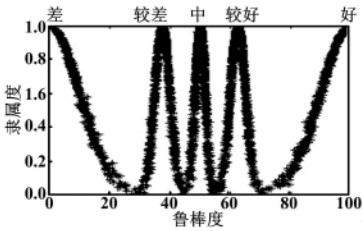


图 1 鲁棒性等级划分图

Fig. 1 Rank division of robustness

② 指标评价集的确定其实就是在论域上划分定性概念的问题。通常是由用户直接给出语言值的云模型,再通过虚拟云算法得出每个云模型的数字特征。在划分的时候通常遵循黄金分割率的模型驱动法,就是在指定的论域内,将给定的评语对应相应的语言值,语言值用云模型来表达,一般是划分为奇数个,例如 3 个或 5 个。本文将 $[0, 100]$ 划分为 5 个评估等级,分别是“好”“较好”“中”“较差”“差”。对应的云模型分别是: $K_1 (100, 10, 0.5)$ 、 $K_2 (62.5, 2.5, 0.2)$ 、 $K_3 (50, 1.67, 0.2)$ 、 $K_4 (37.5, 2.5, 0.2)$ 、 $K_5 (0, 10, 0.5)$ ^[8-9]。利用云模型,将上面划分的鲁棒性等级和

评语用 Matlab 进行仿真,实现指标数据和评语之间的互相映射。

假设对 3 个指标(频段、丢包率、时延)鲁棒性的评估结果分别是(较好、中、差)。定义这 3 个评语对应的云模型分别是 C_1 、 C_2 、 C_3 ,假定 $C_1 = (62.5, 2.5, 0.2)$ 、 $C_2 = (50, 1.67, 0.2)$ 、 $C_3 = (0, 10, 0.5)$ 。根据熵权法求得 3 个指标的权重是 $(0.184, 0.401, 0.423)$,以此进行期望修正。在不考虑权重的情况下,综合评判结果是 $\text{Sum}C = \bigcap_{i=1}^3 C_i = C\{(62.5, 50, 0)(2.5, 1.67, 10)(0.2, 0.2, 0.5)\}$ 。但是权重的影响是客观存在的,必须考虑权重因素,所以将指标的期望贡献和权重同时参与影响重新分配期望值,采用虚拟云理论的一种算法,公式如下^[10]:

$$Ex = \frac{Ex_1 \omega_1 + Ex_2 \omega_2 + \cdots + Ex_n \omega_n}{\omega_1 + \omega_2 + \cdots + \omega_n} \quad (5)$$

$$En = \frac{\frac{\omega_1^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} En_1 + \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} En_2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} \quad (6)$$

$$En_2 + \cdots + \frac{\omega_n^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} En_n \quad (7)$$

$$He = \frac{\frac{\omega_1^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} He_1 + \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} He_2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} \quad (8)$$

$$He_2 + \cdots + \frac{\omega_n^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2} He_n \quad (9)$$

通过以上公式的运算,得出校正后的期望、熵、超熵分别是 $Ex = 53.93$ 、 $En = 3.58$ 、 $He = 0.26$,其覆盖范围是 $(Ex - 3En, Ex + 3En) = (43.19, 64.67)$ 。根据鲁棒性等级的划分,鲁棒性等级对比图如图2所示,图2中虚线表示的是物联网系统的鲁棒性。从图2可以发现,其主要部分落在“中”和“较好”的区域内,但是其中的大部分更接近“中”。当频段、丢包率、时延3个指标影响下的物联网的鲁棒性能是“中”。从上述对物联网鲁棒性的研究,我们可以得出物联网系统的性能比较稳定。

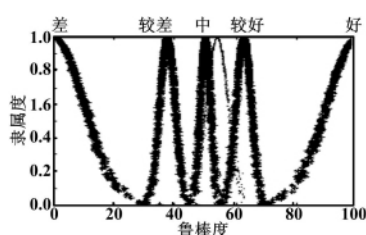


图2 鲁棒性等级对比图

Fig. 2 Comparison of the robustness levels

4 结束语

本文将鲁棒性首次引入物联网系统中,并据此提出物联网的鲁棒性的概念。将鲁棒性作为物联网系统

性能的一个重要的研究对象,利用云模型的方法对物联网鲁棒性进行评估,在指标的处理中应用熵权法计算各指标的相对权重,解决了指标权重求解过程中难以客观的问题。同时实现了系统性能指标数值向评语的不确定映射,更直观地表示了综合评估的结果,在物联网系统评估方面是一个有效的探索和尝试。

参考文献

- [1] 陈柳钦. 物联网: 国内外发展动态及亟待解决的关键问题[J]. 决策咨询通讯, 2010(5): 15-25.
- [2] 接婧. 国际学术界对鲁棒性的研究[J]. 系统工程学报, 2005, 20(2): 154-159.
- [3] 罗赞赛, 夏靖波, 陈天平. 基于云模型和熵权的网络性能综合评估模型[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2009, 21(6): 771-775.
- [4] 闫斌, 周小佳, 王厚军, 等. 无线传感器网络路由鲁棒性研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(6): 2184-2186.
- [5] 王汉斌, 方守林. 熵权法和云模型下的煤矿中层管理人员绩效评价[J]. 山东工商学院学报, 2011, 25(6): 51-54.
- [6] 柳炳祥, 李海林. 一种基于云模型的综合评判方法[J]. 微计算机信息(嵌入式与SOC), 2007, 23(11-2): 262-263.
- [7] 王旭辉, 杨华, 陈远. 基于云模型效能评估的 Matlab 实现[J]. 微型机与应用, 2012, 31(8): 71-73.
- [8] 王健, 肖文杰, 王树文, 等. 一种改进的基于云模型的效能评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(7): 140-142.
- [9] 郭戎潇, 夏靖波, 董淑福, 等. 一种基于多维云模型的多属性综合评判方法[J]. 计算机科学, 2010, 37(11): 75-77.
- [10] 张莹, 代劲, 安世全. 基于云模型的定性评价及在学评教中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(31): 210-215.

(上接第59页)

时传递给监控中心,由监控中心对无线传感网测控系统的远程监控。相比于传统的人工检漏方法,采用无线通信模式的多数据检测、分析方法可更加快速、准确地实现管网渗漏检测及渗漏点定位,极大地节省了人力物力资源。试验结果证明,该系统采用的研究方法是先进的、行之有效的。

参考文献

- [1] 薛晓虎. 供水管网检漏技术研究进展[J]. 山西建筑, 2008, 34(28): 200-201.
- [2] 王继华, 彭振斌, 关钊锋. 供水管网检漏技术现状及发展趋势[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(4): 456-459.
- [3] 杨春红. 供水管网检漏的几种常见方法[J]. 煤炭技术, 2007, 26(6): 138-140.
- [4] 袁荣华, 王毅, 陈春刚. 基于负压波结构模式识别方法的供水管网检漏与定位技术的研究[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2003, 23(3): 202-205.
- [5] 杜冬梅, 张志, 何青, 等. 无线传感器网络节能技术分析[J]. 仪

- 器仪表学报, 2006, 27(6): 366-367.
- [6] 谢陈磊, 方潜生, 汪小龙, 等. 空调压缩机数据无线采集系统的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(2): 195-199.
- [7] 王金安. 智能节电器在建筑节能中的应用[J]. 电力需求侧管理, 2008, 10(6): 46-47.
- [8] 文永起. 基于变频恒压供水系统研究[J]. 化学工程与装备, 2008(2): 46-48.
- [9] 赵宝永, 付兴武, 赵宝东. 模糊控制技术在变频调速恒压供水系统中的应用研究[J]. 电气传动自动化, 2003, 25(6): 16-17.
- [10] 李海波. 基于 PLC 的智能变频恒压供水监控系统的设计[J]. 机电工程技术, 2011, 40(3): 48-50.
- [11] 孙中颖, 宋玉龙. 浅谈基于 PLC 的新型变频调速恒压供水系统[J]. 西南给排水, 2011, 33(2): 48-50.
- [12] 李丽莉. 基于 ZigBee 技术的无线传感器网络节点的设计[J]. 电子元器件应用, 2011(4): 13-14.
- [13] 王小强, 欧阳, 黄淋宁. ZigBee 无线传感器网络的设计与实现[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [14] 高守玮, 吴灿阳. ZigBee 技术实战教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 247-288.