

基于物联网技术的科技基础设施智能管理的可靠性研究

马晓洋, 张晓冬, 彭锐[†]

(北京科技大学 东凌经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 从互联网到物联网是一个必然的趋势, 物联网技术必将促进科技基础设施的智能管理和数据共享. 物联网技术主要利用各种传感器采集设备的各种运行状态, 并且通过射频技术传到云端或者其他数据共享中心进行处理. 由于涉及到无线传输, 必定会涉及到数据传输的可靠性问题, 如果设备的信号未能实时地到达数据共享中心, 则可能影响到该设备的智能管理. 鉴于此, 将科学基础设施系统简化为一个非线性多态系统, 建立一个初步模型, 分析利用物联网技术进行科技基础设施智能管理的可靠性. 对该系统建立基于多值决策图的可靠性建模流程, 并分析多值决策图中计算最大节点数和最大路径数的计算复杂度. 最后通过示例演示了所建立的多值决策图可靠性的计算步骤.

关键词: 物联网; 科技基础设施; 智能管理; 可靠性; 多值决策图; 复杂度

中图分类号: TP274

文献标志码: A

Reliability of intelligent management of research infrastructure based on internet of things

MA Xiao-yang, ZHANG Xiao-dong, PENG Rui[†]

(Donlinks School of Economics & Management, University of Science & Technology Beijing, Beijing, 100083, China)

Abstract: It is an unavoidable trend that internet will develop into internet of things, and the technique of internet of things will surely be applied into the intelligent management of research infrastructure. Based on internet of things, the various parameters of research equipments can be extracted by sensors, which then send the information into cloud server or other types of data management center for processing. As wireless transmission is needed, there is always a problem of reliability for data transmission. If the signal of the equipment cannot be transmitted to the shared data centre, it may influence the the intelligent management of the equipments. In this paper, the system for research infrastructure is simplified to a non-linear multi-state system, and an initial model is constructed to model the reliability of intelligent management of research infrastructure based on internet of things. The technological process and the computational complexity for maximum number of nodes and paths are shown in details. Finally, the procedures are illustrated with an illustrative example to verify the given technological process.

Keywords: internet of things; research infrastructure; intelligent management; reliability; multi-valued decision diagram; computational complexity

0 引言

物联网是指通过各种信息传感设备, 实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程等各种需要的信息, 与互联网结合形成的一个巨大网络^[1]. 物联网被称为继计算机、互联网之后, 世界信息产业的第 3 次浪潮. 根据美国研究机构 Forrester 预测, 物联网所带来的产业价值将比互联网大 30 倍, 将成为下一个万亿元级别的信息产业业务. 随着物联网技术的发

展, 诸多企业都设法利用物联网技术实现工业制造的智能化, 减少人力成本^[2-3]. 海尔集团董事局主席、首席执行官张瑞敏说海尔必须有一个目标——要让所有的电器都变成交互网器, “消费者买一个电器回家, 没有电, 这个电器等于零, 一点用处都没有, 将来电器如果不能上网, 我认为它也等于零”. 不久的将来, 物联网将会颠覆一切, 杰里米·里夫金在《零边际成本社会》一书中指出: 汽车、家电等所有东西都将连接

收稿日期: 2017-11-17; 修回日期: 2018-01-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71671016, 71231001 71871018); 中央高校基本科研业务费专项基金项目(FRF-GF-17-B14).

责任编辑: 张维海.

[†]通讯作者. E-mail: pengrui1988@ustb.edu.cn.

在一起,每一个物件都内置单一的操作系统,会带来一个协同共享的经济.此外,诸多城市也提出了要建立智慧城市的宏伟目标,甚至奥巴马也提出过要利用物联网技术来建立智慧地球^[4-5].从物联网到互联网是一个必然趋势,物联网技术也必将在科技基础设施的智能控制和数据共享上大有作为^[6].

要利用物联网技术实现科技基础设施的智能管理,首先要利用传感器检测科技设备的各种状态,然后将科技设备的状态传到云端或其他数据共享中心进行处理.由于无线传输,涉及到传输的可靠性问题,如果设备的信号未能实时地到达数据共享中心,则可能影响到该设备的智能管理,甚至有可能引起连锁反应^[7].

二元决策图(Binary decision diagram, BDD)是布尔函数基于Shannon分解的一种简化图形表现形式,图中每个结点只有两个取值,对故障树分析的求解割集和计算顶事件发生概率等都非常有效^[8-9],也是计算网络可靠性的常用模型之一^[10-13].孙艳蕊等^[14]在二元决策图的基础上,结合道路排序技巧和布尔代数运算给出了求不交和的方法,经过验证,比单纯使用二元决策图算法更加简单有效.肖宇峰等^[15]为解决结点不可靠网络可靠度计算效率较低的问题,提出了一种基于二元决策图的网络可靠度计算方法.但是,在基于二元决策图的模型中,系统网络状态变量只有0和1两个值,无法解决多态系统中的可靠性问题.为解决系统网络模型中状态多值的情况,Zhai等^[16]引入了多值决策图(Multi-valued decision diagram, MDD),大大降低了计算复杂度. Akhilesha等^[17]比较了对数编码二运决策图(LBDD)、多态二元决策表(MBDD)和多态多值决策图(MMDD)的计算复杂度,得到MMDD的计算复杂度最小,MBDD最大,LBDD居中,表明了MDD在多态系统中的优势.

作为 k -out-of- n 系统的扩展,很多学者研究了线性多态系统(LMDD)^[18-20],与普通的 k -out-of- n 系统相比,LMDD的优点在于不需要相邻结点距离相等,结点之间的距离可以随机定义.但是LMDD仍然有其劣势,即结点之间仍然是线性连接关系,这便导致了该系统在实际二维或三维应用场景中使用受限.例如,在手机通讯网络中,用户A和用户B手机信号传递的路径可能是通过几个中继站连接,但这几个中继站并不一定在一条直线上,因此,研究多维度状态下的网络系统可靠性是必要的.同时,在已有的关

于多维度网络系统可靠性的研究中^[21-22],均未考虑结点连接能力的问题,本模型将节点的连接能力表示为离散随机变量,更加符合实际情况.最后,本文建立一个初步模型来分析通过物联网技术进行科技基础设施智能管理的可靠性,并通过示例进行了演示.

1 可靠性建模

1.1 系统描述

考虑一个科技基础设施,需要通过几个信号中转中心将信号传到数据共享中心.为了方便讨论,假设科技基础设施处于结点1的位置,共有 $N - 2$ 个信号中转中心处于结点 $2, 3, \dots, N - 2$ 的位置,数据共享中心处于结点 N 的位置,如图1所示.每两个结点之间的距离是可以测量的,用矩阵

$$D = \{D_{ij}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N\}$$

表示结点之间的距离,其中 D_{ij} 表示结点 i 到结点 j 的距离.假设科技基础设施上的传感器以及各个信号中转站的信号发射距离具有多种可能的状态,用 $(G_i, P_i) = (G_i(1), \dots, G_i(k_i); P_i(1), \dots, P_i(k_i))$ 表示第 i 个结点处传感器或信号中转中心发射距离服从的分布,其中 $G_i = (G_i(1), \dots, G_i(k_i))$ 是发射距离所有可能的取值, $P_i(j)$ 是发射距离为 $G_i(j)$ 的概率.当结点1处发射的信号能够成功到达结点 N 时,就认为系统是成功的.要求系统的可靠性,就是求结点1处发射的信号能够达到结点 N 的概率.

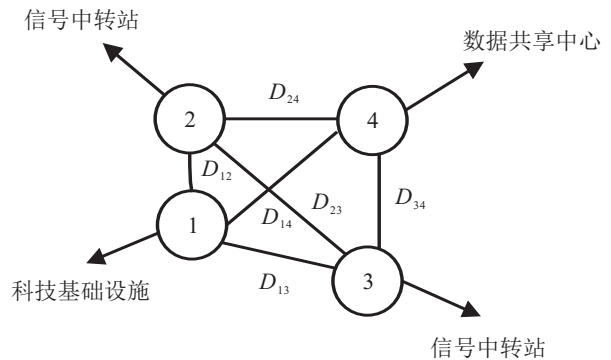


图1 基于物联网的科技基础设施智能管理

1.2 基于多值决策图的可靠性计算步骤

多态系统的可靠性常常利用多值决策图进行分析^[23].多值决策图是一个自上而下的树状结构,每个决策图结点表示一个随机变量,每个决策图结点的分支表示该随机变量的不同取值.根据本文研究的问题,可以用如下步骤建立多值决策树,并计算可靠性.

Step 1: 建立多值决策图的顶点,该顶点仅包含结点1.

Step 2: 根据结点的元素状态计算可到达的分支

决策图,分支决策图中包含可到达的所有剩余结点.

Step 3: 如果并列的分支决策图中包含的结点元素完全相同,则将相同分支决策图进行合并.

Step 4: 如果最底层的所有决策图结点都是空集或者都包括结点 N ,则停止计算分支,开始检查下一个路径,否则,返回 Step 2,当所有路径都遍历后即形成初始的MDD.

Step 5: 如果存在两个结点形成的子决策树是同构的,则将这两个子决策树合并.

Step 6: 系统的可靠性为所有包含结点 N 的叶结点的可靠性集合.

1.3 多值决策图的复杂度计算

要考虑上述流程的计算复杂度,首先要计算使得该多态成功到达叶结点的最大结点数和最大路径数.除了包含顶结点的首层外,多值决策树最多有 $N - 1$ 层.在剩余 $N - 1$ 个结点所生成集合 $\{2, 3, \dots, N\}$ 的所有子集中,结点 $i (2 \leq i \leq N)$ 可能存在“在”或“不在”其子集中两种情况.另外,该集合中有 $N - 1$ 个元素,每层中的子集最多有 2^{N-1} 个结点,因此满足需要的MDD最大结点数满足

$$\max N_{\text{nodes}} \leq 1 + (N - 1) \cdot 2^{N-1}. \quad (1)$$

考虑使得MDD成功的最大路径数,在多值决策图中,除了顶点和最后的叶结点,每条路径有可能包含 $0-(N - 2)$ 个元素.假定使得该网络成功到达最终结点的路径数包含 $k (k \in \{0, 1, \dots, N - 2\})$ 个结点,则这 k 个结点可能被随机分配到 $j (j = 1, 2, \dots, k)$ 层中.因此最大路径数可以表示为

$$\begin{aligned} \max N_{\text{path}} \leq & 2 \sum_{k=1}^{N-2} \binom{N-2}{k} \times \\ & \underbrace{\sum_{j=1}^k \sum_{n_1=1}^{k-j+1} \sum_{n_2=1}^{k-n_1-j+2} \dots \sum_{n_j=1}^{k-n_1-n_2-\dots-n_{j-1}}}_{j} \\ & \underbrace{\frac{k!}{n_1!n_2!\dots n_j!}}_j + 1. \end{aligned} \quad (2)$$

2 实例分析

考虑包含8个信号中转站的例子.包括科技基础设施和数据共享中心在内,共包括10个结点,各个结点之间的距离组成一个10行10列的矩阵 $D_{10 \times 10}$.假设为

$$D_{10 \times 10} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 5 & 7 & 8 & 10 & 10 & 12 & 16 \\ 2 & 0 & 3 & 6 & 3 & 3 & 5 & 8 & 5 & 8 \\ 3 & 3 & 0 & 5 & 2 & 2 & 6 & 10 & 7 & 9 \\ 5 & 6 & 5 & 0 & 6 & 6 & 7 & 13 & 10 & 10 \\ 7 & 3 & 2 & 6 & 0 & 3 & 7 & 10 & 7 & 10 \\ 8 & 3 & 2 & 6 & 3 & 0 & 7 & 10 & 7 & 12 \\ 10 & 5 & 6 & 7 & 7 & 7 & 0 & 10 & 9 & 10 \\ 10 & 8 & 10 & 13 & 10 & 10 & 10 & 0 & 8 & 15 \\ 12 & 5 & 7 & 10 & 7 & 7 & 9 & 8 & 0 & 9 \\ 16 & 8 & 9 & 10 & 10 & 12 & 10 & 15 & 9 & 0 \end{bmatrix}.$$

矩阵中元素 $d_{i,j} (i, j = 1, 2, \dots, 10)$ 的值表示结点 i 到结点 j 的距离,如 $d_{12} = 2$ 表示结点1到结点2的距离为2, $d_{23} = 3$ 表示结点2到结点3的距离为3.由于结点 i 到结点 j 的距离与结点 j 到结点 i 的距离相同,该矩阵为对称矩阵,即 $d_{i,j} = d_{j,i} (i, j = 1, 2, \dots, 10)$.同时, $d_{i,i} (i = 1, 2, \dots, 10)$ 表示结点 i 到本结点的距离,因此 $d_{i,i} (i = 1, 2, \dots, 10) = 0$.在上述矩阵中,各个结点的发射距离服从如表1所示的分布.

表1 结点1到结点9的发射距离服从分布

i	G	P
(G_1, P_1)	(5, 3, 1)	(0.75, 0.2, 0.05)
(G_2, P_2)	(3, 2)	(0.95, 0.05)
(G_3, P_3)	(4, 1)	(0.95, 0.05)
(G_4, P_4)	(6, 4, 2)	(0.9, 0.08, 0.02)
(G_5, P_5)	(5, 2)	(0.95, 0.05)
(G_6, P_6)	(7, 5, 3)	(0.85, 0.1, 0.05)
(G_7, P_7)	(10, 2)	(0.95, 0.05)
(G_8, P_8)	(16, 9)	(0.9, 0.1)
(G_9, P_9)	(9, 3)	(0.8, 0.2)

由表1可见,结点1的发射距离可能为5、3或1,相应的概率为0.75、0.2、0.05.矩阵 D 的第1行元素 $d_{1,j}$ 表示结点1到结点 j 的距离,当结点1发射距离为5时,根据矩阵 D 中第1行信息可以看出,可能到达的结点包含2、3、4,因此从结点1出发,到达结点2、3、4的概率为0.75.当结点1的发射距离为3时,结点1只能到达2和3,此时概率为0.2.若结点1的发射距离为1,则信号不能到达任何其他结点,这种情况概率为0.05.以上3种情况组成了多值决策图的第2层结点集合.第3层与第2层类似,以第2层中结点集合 $\{2,3\}$ 为例,结点 $\{2,3\}$ 可以发射的距离子集共包含4种情况,即 $\{3,4\}$ 、 $\{3,1\}$ 、 $\{2,4\}$ 、 $\{2,1\}$,可以到达的新增结点集合分别为 $\{5,6\}$ 、 $\{5,6\}$ 、 $\{5,6\}$ 、 $\{\emptyset\}$,对应的概率分别

为 0.95×0.95 、 0.95×0.05 、 0.05×0.95 、 0.05×0.05 . 将相同集合进行合并, 概率相加, 可得第2层结点 {2,3} 在第3层中的子集共包含两个集合 {5,6} 和 {∅}, 对应的概率分别为0.9975和0.0025. 以此类推, 根据第2.2节前5个步骤, 建立用于计算可靠性的多值决策图, 直到系统达到根结点或到达底层结点. 根据 Step 5, 第2层结点集合 {2,3,4} 和 {2,3} 在第3层的分支决策图是同构的, 可对该分支决策图进行合并, 如图2所示.

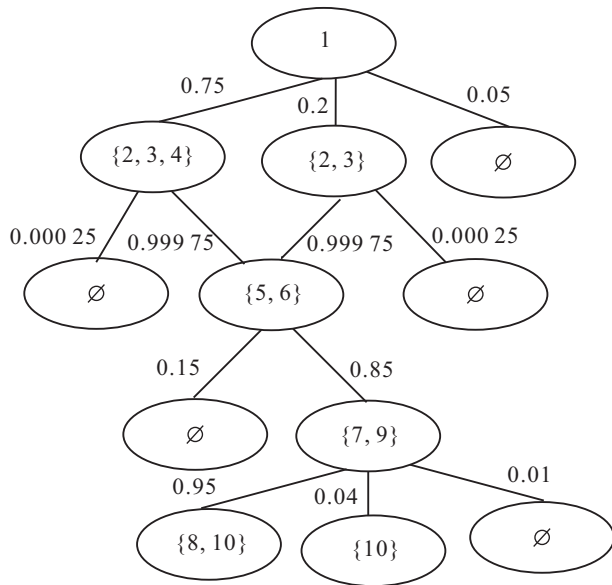


图2 用于计算可靠性的多值决策图

另外, 可以看出总共有两条路径的叶结点包括结点10, 因此该系统的可靠性为

$$0.75 \times 0.99975 \times 0.85 \times 0.99 + 0.2 \times 0.9975 \times 0.85 \times 0.99 = 0.7988,$$

即基础科技设施上面传感器传输的数据有0.7988的概率可以到达数据共享中心.

3 结论

本文建立了一个分析利用物联网技术进行科技基础设施智能管理的可靠性模型. 对该系统建立基于多值决策图的可靠性建模流程, 并分析多值决策图中计算最大节点数和最大路径数的计算复杂度. 最后通过示例演示了所建立的多值决策图可靠性的计算步骤. 未来的工作可以考虑多台科技基础设施的智能管理, 以及考虑基础科技设施和传感器位置随时间变化的情况.

参考文献(References)

[1] 李锐君, 周伟, 侯维岩. 面向先进制造环境的工业物联网关键技术研究[J]. 仪表技术, 2017(3): 4-7. (Li R J, Zhou W, Hou W Y. Reserch on the key

technologies of the industrial internet of things for the advanced manufacturing environment[J]. Instrumental Technique, 2017(3): 4-7.)

[2] 张辉, 张海超, 徐晓静. 物联网技术在橡胶工业智能制造中的应用[J]. 橡塑技术与装备, 2016, 42(18): 69-71. (Zhang H, Zhang H C, Xu X J. Application of internet of things technology in rubber industries intelligent manufacturing[J]. China Rubber Technology and Equipment. 2016, 42(18): 69-71.)

[3] 张礼立. 工业物联网助推制造走向自主模式[J]. 中国工业评论, 2017(4): 36-41. (Zhang L L. Industrial networking promotes manufacturing towards autonomous mode[J]. China Computer Users. 2017(4): 36-41.)

[4] 李琴. 我国智慧城市发展的现状和策略研究[J]. 视听, 2017(9): 221-223. (Li Q. Research on the current situation and strategy of smart city development in china[J]. Radio and TV J, 2017(9): 221-223.)

[5] 刘洪宾. 一种基于城市物联网基地的智慧城市照明管理系统[J]. 电子技术与软件工程, 2017(18): 199. (Liu H B. A smart city lighting management system based on city IOT base station[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2017(18): 199.)

[6] 杨金翠. 物联网环境下的控制安全关键技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学计算机学院, 2013. (Yang J C. Research on key technologies of control security in the internet of things[D]. Beijing: School of Computer Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013.)

[7] Peng R, Xie M, Ng S H, et al. Element maintenance and allocation for linear consecutively connected systems[J]. IIE Trans. 2012, 44(11): 964-973.

[8] Peng R, Zhai Q, Xing L, et al. Reliability of 1-out-of-(n+1) warm standby systems subject to fault level coverage[J]. Int J of Performability Engineering, 2013, 9(1): 117-120.

[9] Bryant R E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation[J]. IEEE Trans on Computers, 1986, 8: 677-691.

[10] 何明, 权冀川, 郑翔, 等. 基于二元决策图的网络可靠性评估[J]. 控制与决策, 2011, 26(1): 32-36. (He M, Quan J C, Zheng X, et al. Network reliability evaluation based on binary decision diagrams[J]. Control and Decision, 2011, 26(1): 32-36.)

[11] 涂序跃. 基于二元决策图的系统可靠性模块分析方法[J]. 华东交通大学学报, 2010, 27(5): 53-57. (Tu X Y. System reliability module analysis method based on two dimensional decision diagram[J]. J of East China Jiaotong University, 2010, 27(5): 53-57.)

[12] 郎荣玲. 故障树转化为二元决策树的算法研究[J]. 计

计算机工程与应用, 2008, 44(27): 69-71.
(Lang R L. Research on fault tree conversion to binary decision diagram[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(27): 69-71.)

[13] 闵苹, 童节娟, 奚树人. 利用二元决策图求解故障树的基本事件排序[J]. 清华大学学报, 2005, 45(12): 1646-1649.
(Min P, Tong J J, Xi S R. Basic event ordering in fault tree analyses using binary decision diagram[J]. J of Tsinghua University, 2005, 45(12): 1646-1649.)

[14] 孙艳蕊, 张祥德. 利用二分决策图计算网络可靠度的一个有效算法[J]. 东北大学学报, 1998, 19(5): 543-546.
(Sun Y R, Zhang X D. An efficient algorithm for computing network reliability using two component decision diagrams[J]. J of Northeastern University, 1998, 19(5): 543-546.)

[15] 肖宇峰, 张华. 基于二元决策图的结点不可靠网络可靠度计算[J]. 计算机工程, 2015, 41(1): 87-91.
(Xiao Y F, Zhang H. Reliability computation of network with unreliable nodes based on binary decision diagram[J]. Computer Engineering, 2015, 41(1): 87-91.)

[16] Zhai Q, Peng R, Xing L. Reliability of demand-based warm standby systems subject to fault level coverage[J]. Applied Stochastic Models in Business and Industry, 2015, 31(3): 380-393.

[17] Shrestha A, Xing L, Dai Y. Decision diagram based methods and complexity analysis for multi-state systems[J]. IEEE Trans on Reliability, 2010, 59(1): 145-161.

[18] Levitin G, Xing L, Ben-Haim, H, et al. m/nCCS: Linear

consecutively connected systems subject to combined gap constraints[J]. Int J of General Systems, 2015, 44(7/8): 833-848.

[19] Peng R, Xie M, Ng S H, et al. Element maintenance and allocation for linear consecutively connected systems[J]. IIE Trans, 2012, 44(11): 964-973.

[20] Xiao H, Peng R, Wang W, et al. Optimal element loading for linear sliding window systems[J]. J of Risk and Reliability, 2016, 230(1): 75-84.

[21] Ramirez-Marquez J E, Rocco C. Evolutionary optimization technique for multi-state two-terminal reliability allocation in multi-objective problems[J]. IIE Trans, 2010, 42(8): 539-552.

[22] Yeh W. New method in searching for all minimal paths for the directed acyclic network reliability problem[J]. IEEE Trans on Reliability, 2016, 65(3): 1263-1270.

[23] Mo Y, Xing L, Cui L, et al. MDD-based performability analysis of multi-state linear consecutive- k -out-of- n : F Systems[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2017, 166: 124-131.

作者简介

马晓洋 (1989-), 女, 博士生, 从事系统可靠性与随机退化过程建模的研究, E-mail: maxiaoyang0218@163.com;
张晓冬 (1972-), 女, 教授, 博士, 从事管理系统建模与优化、精益生产及运作管理等研究, E-mail: xdzhang@manage.ustb.edu.cn;
彭锐 (1988-), 男, 副教授, 从事系统可靠性分析、系统攻防等研究, E-mail: pengrui1988@ustb.edu.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)

下 期 要 目

机会信号导航综述 黄高明, 等
基于多维信息特征映射模型的在线学习路径优化方法 李浩君, 等
基于改进颜色空间的彩色图像双水印算法 朱婷鸽, 等
基于非稳态随机过程的近红外反射率鲁棒估计算法 房卓群, 等
下肢假肢斜坡路况运动控制策略分析 赵晓东, 等
基于定向A*算法的多无人机同时集结分步策略 陈志旺, 等
基于混沌遗传算法的集团分布式制造工序资源配置 李益兵, 等
基于贝叶斯网络的柴油机润滑系统多故障诊断 王金鑫, 等
基于场景动态度的两级配送路径问题 葛显龙, 等
立方体机器人自抗扰平衡控制方法 陈志刚, 等