

组合网络控制拓扑建模与鲁棒性分析仿真

韩红章^{1,2}

(1 江苏理工学院 计算机工程学院, 江苏 常州 213001;

2 常州市云计算与智能信息处理重点实验室, 江苏 常州 213001)

摘 要: 组合网络最优决策控制拓扑建模与结构鲁棒性分析能够提高组合网络控制结构的抗干扰能力. 在组合网络最优决策控制过程中, 容易受到环境因素的干扰, 无法形成固定的控制决策, 影响了组合网络决策控制的鲁棒性测试. 提出基于概率解析算法的组合网络控制结构鲁棒性测试方法. 筛选组合网络中控制结构鲁棒性影响因素, 建立鲁棒性影响因素数据集合, 并对不同鲁棒性影响因素的权重进行计算. 根据概率解析算法相关理论, 获取组合网络最优决策控制鲁棒性影响因素的灵敏度函数和数据传输函数, 对结构的鲁棒性进行准确的分析. 实验结果表明, 利用改进算法进行组合网络中最优决策控制结构鲁棒性分析, 能够提高分析的准确性, 满足组合网络应用的实际需求.

关键词: 决策控制; 拓扑建模; 鲁棒性

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)06-0162-04

Combination of Network Topology Control Simulation Modeling and Robustness Analysis

HAN Hong-zhang^{1,2}

(1 School of Computer Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou 213001, China;

2 Key Laboratory of Cloud Computing & Intelligent Information Processing of Changzhou City, Changzhou 213001, China)

Abstract: Composite structure of network topology modeling and optimal decision control robustness analysis can improve the anti-interference ability of combination network control structure. In the process of combination network optimal decision control, vulnerable to the interference of environmental factors, unable to form a fixed control decisions, influence the combination network decision-making control robustness test. Based on the combination of the probabilistic parsing algorithm network control structure of robustness test method. Screening combination in the network robustness control structure influencing factors, establish robust factors affecting the data collection, robustness and the different weights of affecting factors to calculate. Combination according to the related theory, probabilistic parsing algorithm for network optimal decision control robustness sensitivity function and data transmission function, the influential factors of robustness for accurate analysis of the structure. The experimental results show that the improved algorithm are combined in the network robustness analysis, optimal decision control structure can improve the accuracy of analysis, meet the actual demand of combination of network application.

Key words: decision-making control; topology modeling; robustness

收稿日期: 2013-09-23; 修回日期: 2013-10-29

基金项目: 江苏省高校自然科学研究项目(13KJB520005); 江苏理工院校青年科研基金项目(KYY12025); 常州市云计算与智能信息处理重点实验室(CM20123004)

1 引言

随着网络技术的快速发展,组合网络在不同领域中的应用也越来越广泛^[1].利用组合网络中控制结构鲁棒性分析技术,能够对组合网络中的控制结构鲁棒性进行分析^[2],从而实现了对组合网络的控制^[3].因此,如何进行组合网络中控制结构鲁棒性分析,已经成为网络控制领域需要研究的热门问题^[4],受到很多专家的关注.现阶段,主要的组合网络中控制结构鲁棒性分析方法包括基于神经网络算法的控制结构鲁棒性分析方法^[5]、基于聚类算法的控制结构鲁棒性分析方法和基于决策树算法的控制结构鲁棒性分析方法^[6].其中,最常用的是基于聚类算法的控制结构鲁棒性分析方法^[7].由于控制结构鲁棒性分析方法在组合网络控制方面拥有广阔的发展前景^[8],因此,成为很多学者研究的重点课题^[9].

最优决策选择在组合网络控制过程中,非常容易受到环境的影响,难以形成稳定的控制决策,组合网络决策控制的鲁棒性受到了影响.

针对上面阐述的传统算法的缺点,提出一种新型的组合网络控制结构方法,即基于概率解析算法的鲁棒性分析方法.挑选组合网络里控制结构鲁棒性的影响成分,构建鲁棒性影响成分的数据集合,同时计算鲁棒性影响成分的权重.依据概率解析算法的有关理论,取得组合网络里最优决策控制鲁棒性影响成分的数据传输函数及灵敏度函数,准确的分析结构的鲁棒性.实验结果证明,采用改进算法对组合网络里最优决策控制结构进行鲁棒性分析,可以提升分析的准确度,能够满足组合网络实际应用需要.

2 控制结构鲁棒性分析方法原理

在组合网络中,建立组合网络最优决策控制拓扑数学模型和分析鲁棒性的方法,对于其控制方法的评价有着举足轻重的作用.

采用鲁棒性分析规则,可以对控制过程的内容进行表示,如下所示:

S^j :

if $y_1(u)$ is N_{j1} and...and $y_p(u)$ is N_{jp} then z is $q^j, j = 1, 2, \dots, s$ (1)

式中,常数用 q^j 表示;组合网络决策控制过程的第 j 条规则用 S^j 来表示;状态参数建立的数据集合用 $N_{jk} (k = 1, 2, \dots, p)$ 表示.

在组合网络中分析最优决策控制结构鲁棒性的

过程中,非线性集合由需要输入的变量建立,可以用式(2)表示:

S^j :

if $y_1(u)$ is N_{j1} and...and $y_p(u)$ is N_{jp} then z is $g_j(y_1, y_2, \dots, y_p), j = 1, 2, \dots, s$ (2)

式中,

$$g_j(y_1, y_2, \dots, y_p) = q_0^j + q_1^j y_1 + \dots + q_p^j y_p$$

动态变换上述公式,可以取得下面结果:

S^j :

if $y_1(u)$ is N_{j1} and...and $y_p(u)$ is N_{jp}

$$\begin{aligned} \text{then } \dot{x}(t) &= A_i x(t) + B_i u(t) \\ y(t) &= C_i x(t) + D_i u(t) \end{aligned} \quad (3)$$

其中,结构鲁棒性影响成分的数量用 $j = 1, 2, \dots, s$ 表示;组合网络中决策控制影响成分建立的矩阵分别用 B_j, C_j, D_j 和 E_j 表示;组合网络中决策控制影响成分的状态分量用 $y(u) \in S^p$ 表示;输入数据建立的集合用 $v(u) \in S^n$ 表示;第 j 条影响结构鲁棒性的成分用 S^j 表示;输出数据建立的集合用 $z(u) \in S^r$ 表示.

依据上述算法,可以在组合网络中建立最优决策控制拓扑模型及鲁棒性分析结构,在组合网络中为正常运行提供了技术支持.

3 控制结构鲁棒性分析优化方法理论

采用传统算法对组合网络最优决策控制拓扑关系建模,并对结构鲁棒性进行分析.因为受到外界环境干扰,导致很难形成稳定的控制决策,造成分析准确性比较差的缺点.为此,提出一种新型的组合网络控制结构方法即基于概率解析算法的鲁棒性分析方法.

3.1 筛选鲁棒性影响因素

分析组合网络中最优决策控制拓扑建模的影响成分,同时依据分析差异成分的重要程度及估量结果,计算分析对象的边界及隶属度,最后可以得到组合网络中控制结构鲁棒性分析影响成分的矩阵,依据取得的结论对组合网络中控制结构影响成分重点程度进行估量.

在组合网络控制结构鲁棒性分析中,组合网络中控制结构鲁棒性成分建立的集合可以用 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_j, \dots, V_n\}$ 描述,其集合表示组合网络中控制结构鲁棒性分析的全部指标,第 j 个一级鲁棒性分析指标用 V_j 表示,且 $V_j = \{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jk}, \dots, V_{jp}\}$.

依据组合网络中控制结构鲁棒性分析指标的级别,可以对鲁棒性影响成分进行估量.系统鲁棒性影响成分指标估量集合可以用 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_p\}$ 描述.依据组合网络中控制结构鲁棒性影响成分,可以准确的分析结构的鲁棒性.

依据组合网络中控制结构鲁棒性的影响因子,可以计算差异等级子集合的隶属度,同时依据相应的权重进行调整,从而取得鲁棒性影响成分的关联度,如下所示:

$$C = B \circ R = (c_1, c_2, \dots, c_p)$$

$$= (b_1, b_2, \dots, b_n) \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{np} \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中,子集合 B 与 S 融合的结果用 C 描述,全部子集合的隶属度用 s_{jk} 描述.根据加权平均方法相关理论,计算调整后的结果,能够准确表示不同子集合鲁棒性的价值度.

3.2 分析组合网络中控制结构鲁棒性

设置 $D(t)$ 表示组合网络中决策控制结构鲁棒性, $Q(t, r)$ 表示组合网络中决策控制方法的性能, t 表示不规则分析变量, r 表示不确定状态数据,即 $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$; 在组合网络中决策控制结构的鲁棒性分析过程中,变量概率密度函数用 $g(r)$ 来表示,鲁棒性影响成分数量用 P 来表示,组合网络中决策控制的控制时间用 $g(r)$ 来表示,即能够利用式(5)计算对应的灵敏度函数:

$$T(t, r) = \frac{1}{1 + Q(t, r) D(t)} \quad (5)$$

如果 $T(t, r)$ 是有较强稳定性的传递函数,则可以取得下面的公式:

$$v(r) = \|T(t, r)\|_{\infty} = \sup_{\xi} |T(k\xi, r)| \quad (6)$$

在组合网络决策控制鲁棒性分析过程中,分析条件能够用下面公式表示:

$$v(r) \leq \eta \quad (7)$$

用式(8)计算组合网络中决策控制结构鲁棒性影响成分稳定的概率是

$$Q = Q(v(r) \geq \eta) = \int_R g(r) J(r) dr \quad (8)$$

依据已知 $g(r)$, 可以取得 P 个子集合,从而取得组合网络中决策控制结构鲁棒性状态参数的估计量,如下所示:

$$\hat{Q} = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P J(r_j) \quad (9)$$

如果设定组合网络中决策控制结构鲁棒性分析的准确度为 $\varphi \in (0, 1)$, 可信度为 $\epsilon \in (0, 1)$ 时,则鲁棒性的概率值 $(1 - \epsilon)$ 收敛于 Q , 最终可以取得概率鲁棒分析的模型,如下所示:

$$Q\{|Q - \hat{Q}| \leq \varphi\} \geq 1 - \epsilon \quad (10)$$

上面阐述的组合网络中决策控制结构鲁棒性分析需要符合下面的条件:

$$P_{\min} \geq \ln \frac{1}{\epsilon} / \ln \frac{1}{1 - \varphi} \quad (11)$$

依据上述算法,可以挑选组合网络中最优决策控制的拓扑建模和结构鲁棒性的影响成分,依据挑选的结果,分析控制结构鲁棒性.

4 实验结果分析

为了验证本文提出的组合网络决策控制结构鲁棒性分析方法的有效性,需要进行一次实验.实验环境能够用图 1 进行描述.

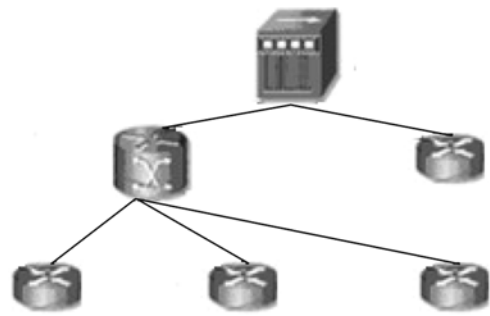


图 1 实验环境图

在实验过程中,需要进行 10 次实验,组合网络失效的概率都是逐渐增加的.上述实验数据能够用表 1 进行描述.

表 1 实验数据表

实验次数	组合网络失效概率/%
1	10
2	15
3	17
4	21
5	24
6	27
7	32
8	35
9	39
10	40

利用不同算法进行组合网络决策控制结构鲁棒性分析,分析时间能够用图 2 进行描述.

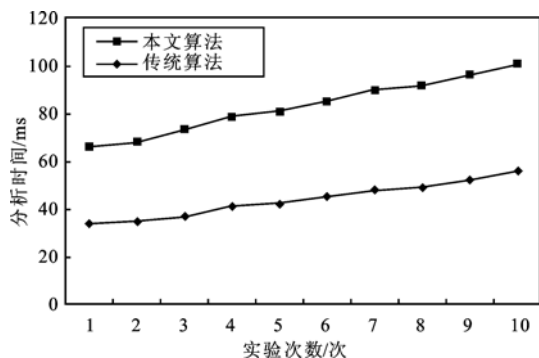


图 2 不同算法分析时间

利用传统算法进行组合网络最优决策控制拓扑建模与结构鲁棒性分析实验,获取的结果与实际鲁棒性之间的差异能够用图 3 进行描述。

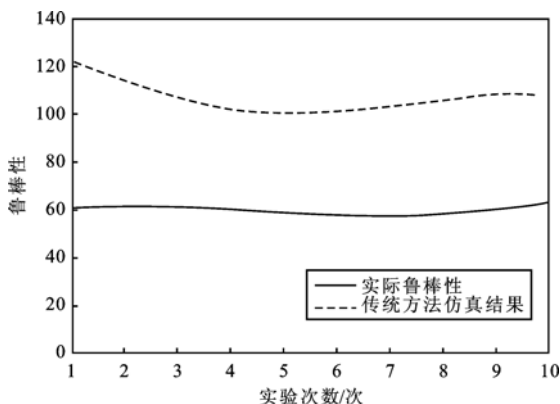


图 3 传统算法分析结果

利用本文算法进行组合网络最优决策控制拓扑建模与结构鲁棒性分析实验,获取的结果与实际鲁棒性之间的差异能够用图 4 进行描述。

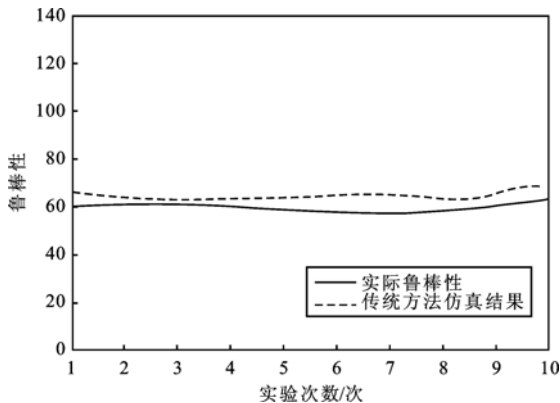


图 4 本文算法检测结果

根据上述实验结果可以得知,利用本文算法进行组合网络决策控制结构鲁棒性分析,分析结果与实际鲁棒性更加接近。

将上述实验数据进行整理分析,能够得到表 2。

根据表 3 中的数据能够得知,利用本文算法进行组合网络决策控制结构鲁棒性分析,可以极大地

提高分析的准确性,从而为组合网络运行提供依据。

表 2 鲁棒性分析时间对比

实验次数	传统算法/ms	本文算法/ms
1	34	32
2	35	33
3	37	36
4	41	38
5	42	39
6	45	40
7	48	42
8	49	43
9	52	44
10	56	45

表 3 鲁棒性分析误差对比

实验次数	传统算法/%	本文算法/%
1	19	10
2	12	13
3	13	14
4	15	15
5	17	18
6	18	19
7	20	21
8	22	23
9	23	25
10	24	26

5 结束语

针对传统算法进行组合网络中决策控制拓扑建模和结构鲁棒性分析,无法避免由于受到外界环境干扰造成的难以形成固定控制决策的缺陷,降低了分析准确性。为此,提出基于概率解析算法的组合网络控制结构鲁棒性分析方法,筛选组合网络中控制结构鲁棒性影响因素,建立鲁棒性影响因素数据集,并对不同鲁棒性影响因素的权重进行计算,根据概率解析算法相关理论,获取组合网络最优决策控制鲁棒性影响因素的灵敏度函数和数据传输函数,对结构的鲁棒性进行准确的分析。实验结果表明,利用改进算法进行组合网络中最优决策控制结构鲁棒性分析,能够提高分析的准确性,缩短了鲁棒性分析的时间,充分展示了改进算法的优越性,获取了令人满意的结果。

(下转第 170 页)

度数 $E(d)$ 较大, MIS 算法运行时间就越短; 路径损耗指数 α , 信噪比值 β 越大, 节点度数 $E(d)$ 较大, MIS 算法运行时间就越长。

MIS 算法可作为分簇算法中簇头选举策略, 而通过在 SINR 模型下分析 MIS 算法, 发现算法只受路径损耗指数和信噪比的影响, 造成算法度数的改变, 其算法复杂度和信息复杂度都未改变。下一步就可以把这种新的 MIS 算法应用到分簇算法中去。

参考文献:

- [1] Christoph Lenzen, Roger Wattenhoffer. Distributed algorithms for sensor networks[J]. Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences, 2012, 370(1958): 11-26.
- [2] 樊帅, 张林, 冯伟, 等. 基于物理干扰模型的分布式传输调度算法[J]. 清华大学学报, 2011, 51(11): 1631-1636.
- [3] Afek Y, Alon N, Barad O, et al. A biological solution to a fundamental distributed computing problem[J]. Science, 2011, 331(6014): 83-185.

- [4] Yehuda Afek, Noga Alon, Ziv Bar-Joseph, et al. Bee-ping a maximal independent set[DB/OL]. [2013-07-09] (2012-06-01). cs Ds, <http://arxiv.org/abs/1206.0150>.
- [5] Yehuda Afek, Noga Alon, Ziv Bar-Joseph. MIS on the fly[DB/OL]. [2013-07-09] (2011-06-10). cs Dc, <http://arxiv.org/abs/1106.2126v1>.
- [6] Christian Scheideler, Andrea W Richa, Paolo Santi. An $O(\log n)$ dominating set protocol for wireless ad-hoc networks under the physical interference model, ISBN: 978-1-60558-073-9 [R]. New York: ACM, 2008.
- [7] 袁锦绣. 基于 LDHT 方案的移动 Adhoc 网络性能分析[J]. 福建电脑, 2009, (12): 71-72.
- [8] 刘永振. 无线自组织网络干扰模型[D]. 安徽: 中国科学技术大学, 2009.

作者简介:

冯文峰 男, (1975-), 博士后, 副教授. 研究方向为复杂网络、无线传感网络。

(上接第 165 页)

参考文献:

- [1] Huang H-P, Jeng J-C. Monitoring and assessment of control performance for single loop systems[J]. Industrial Engineering Chemistry Research, 2002, 41(5): 1297-1309.
- [2] Sun H, Wu J. Scale-free characteristics of supply chain distribution networks[J]. Modern Physics Letters B, 2005, 19(17): 841-848.
- [3] 宫晓曼. 一种云计算环境下的最优物流服务商选择方法[J]. 物流技术, 2013(12): 423-425.
- [4] 宋明红, 俞华锋, 陈海燕. 改进量子进化算法在计算机网络路由选择中的应用研究[J]. 科技通报, 2014(1): 170-173.
- [5] Zhao K, Kumar A, Harrison T P, et al. Analyzing the resilience of complex supply network topologies against random and targeted disruptions [J]. IEEE

Systems Journal. 2011, 5(1): 28-39.

- [6] 周少平, 荆涛, 任义广. 定性定量相结合的探索性分析建模[J]. 计算机仿真, 2009, 26(10): 87-89.
- [7] 李一, 李东海, 曾河华. 机炉协调控制系统的鲁棒性能分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(5): 674-677.
- [8] 袁少强, 李行善. 现代飞行控制系统的稳定鲁棒性评估[J]. 仪器仪表报, 2004, 25(4): 851-852.
- [9] Tyreus B D, Luyben W L. Tuning PI controllers for integrator/dead time processes [J]. Industrial Engineering Chemistry Research, 1992, 31(31): 2625-2628.

作者简介:

韩红章 男, (1981-), 硕士研究生, 实验师. 研究方向为网络与信息安全。