

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154737311183012263

检测时间:2021-07-23 15:47:37

检测文献: 015

作者: 养方式

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比文库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

可能已提前检测, 检测时间: 2021/4/28 9:19:53, 检测结果: 24.1%

检测结果

去除本人文献复制比: 15%

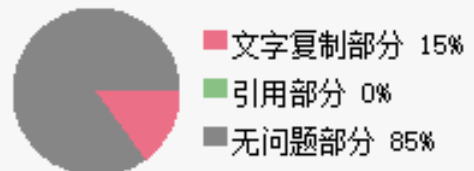
跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 15%

总文字复制比: 15%

单篇最大文字复制比: 5.7% (2016111420_周萌_基于重要节点和环境因素的电力通信网可靠性分析和优化机制)

重复字数: [3588] 总段落数: [3]
总字数: [23990] 疑似段落数: [3]
单篇最大重复字数: [1359] 前部重合字数: [317]
疑似段落最大重合字数: [2278] 后部重合字数: [3271]
疑似段落最小重合字数: [342]



指 标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0 公 式: 没有公式 疑似文字的图片: 0 脚注与尾注: 0

9.9%(968) 9.9%(968) 015_第1部分 (总9799字)
21%(2278) 21%(2278) 015_第2部分 (总10822字)
10.2%(342) 10.2%(342) 015_第3部分 (总3369字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

1. 015_第1部分

总字数: 9799

相似文献列表

去除本人文献复制比: 9.9%(968) 文字复制比: 9.9%(968) 疑似剽窃观点: (0)

1	S1206559996_金文俊_基于社团结构的电力通信网可靠性评估方法 金文俊 - 《学术论文联合比文库》- 2019-04-09	5.5% (535) 是否引证: 否
2	2016111430_金文俊_基于社团结构的电力通信网可靠性评估方法 金文俊 - 《学术论文联合比文库》- 2019-03-04	4.8% (469) 是否引证: 否
3	常鲜戎 211231306 胡格金 - 《学术论文联合比文库》- 2014-12-24	1.3% (130) 是否引证: 否

4	lw-2132313332 - 《学术论文联合比对库》- 2018-05-07	1.2% (113) 是否引证：否
5	17215187_张顺_面向人工神经网络芯片的片间互连仿真平台的设计与实现 张顺 - 《学术论文联合比对库》- 2019-04-16	0.6% (54) 是否引证：否
6	郭浩-201520100618-基于介电弹性体的驱动与机构的拓扑优化设计与研究 郭浩 - 《学术论文联合比对库》- 2018-04-04	0.3% (32) 是否引证：否
7	12330831_郭浩_基于介电弹性体的驱动与机构的拓扑优化设计 郭浩 - 《学术论文联合比对库》- 2018-04-03	0.3% (32) 是否引证：否
8	K公司电力通信网运营可靠性改进策略 陈嘉(导师：荣莉莉) - 《大连理工大学硕士学位论文》- 2015-12-04	0.3% (32) 是否引证：否
9	国际软件学院-2013212163018-陈沐啸-20151120 国际软件学院 - 《学术论文联合比对库》- 2015-11-20	0.3% (30) 是否引证：否

原文内容

专业硕士学位论文基于社团挖掘算法和正态云模型的电力通信网可靠性研究
Research on reliability of power communication network based on community mining algorithm and normal cloud model
姓名
2021 年 04 月
国内图书分类号： 学校代码：10079
国际图书分类号： 密级：公开
硕士学位论文基于社团挖掘算法和正态云模型的电力通信网可靠性研究
硕士研究生：
导师：
企业导师：
申请学位： 工程硕士
专业领域：
培养方式： 在职
所在学院： 电气与电子工程学院
答辩日期：
授予学位单位： 华北电力大学
Classified Index:
U.D.C:
Dissertation for the Professional master's Degree
Research on the reliability of power communication network based on association mining algorithm and normal cloud model
Candidate:
Supervisor:
School: School of Electric and Electronic Engineering
Date of :
Degree-Confering-Institution: North China Electric Power University
华北电力大学硕士学位论文原创性声明
本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《基于社团挖掘算法和正态云模型的电力通信网可靠性研究》，是本人在导师指导下，在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。
作者签名： 日期： 年月日
华北电力大学硕士学位论文使用授权书
《基于社团挖掘算法和正态云模型的电力通信网可靠性研究》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门
送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅。本人授权华北电力大学，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。
本学位论文属于（请在以上相应方框内打“√”）：
保密□，在年解密后适用本授权书

不保密□

作者签名： 日期： 年月日导师签名： 日期： 年月日

摘要

I

摘要

随着电力事业的飞速发展，电力通信网已在全国范围内实现覆盖。随着电力业务的不断发展和丰富，电力通信网的对可靠性的要求也日益增加，研究可靠性提升算法是很有必要的实践。本文从可靠性提升的角度出发，对电力通信网的可靠性提升从多方面进行研究分析，首先从网络的复杂角度出发，通过对复杂网络进行社团划分进行电力通信网的构建；其次考虑电力通信网的多个环境因素，通过构建正态云模型模拟含有多维环境因素的电力通信网。

为提升电力通信网的可靠性，本文从复杂网络、多维环境因素出发，研究可靠性提升算法。首先依据社团理论，利用社团挖掘算法将电力通信网按照社团架构划分，通过将网络的全端可靠性计算改进为社团内部和社团之间的可靠性的和，可靠性的计算变得更加高效简洁。其次针对多维环境因素的电力通信网，通过正态云模型进行建模，结合受控混合随机 petri 网构建单路由和含有备份路由的电力通信网仿真环境，验证备份路由的成效，然后提出备份路由选择算法，借助最优的备份路径选择，令电力通信网的可靠性达到最优，通过仿真验证备份路径选择算法的有效性，

为电力通信网可靠性的提升提供理论参考。

关键词：电力通信；可靠性；社团挖掘；正态云模型

ABSTRACT

I

Abstract

With the rapid development of electric power business, the electric power communication network has achieved nationwide coverage. With the continuous development and enrichment of electric power business, the reliability requirements of electric power communication network are increasing, and it is necessary practice to study reliability enhancement algorithm. In this paper, we study and analyze the reliability enhancement of electric power communication network from the perspective of reliability enhancement from various aspects, firstly, from the perspective of complexity of the network, and construct the electric power communication network by dividing the complex network into associations; secondly, we consider multiple environmental factors of electric power communication network, and simulate the electric power communication network containing multi-dimensional environmental factors by constructing normal cloud model.

In order to improve the reliability of power communication network, this paper studies the reliability improvement algorithm from complex network and multidimensional environmental factors. Firstly, based on the association theory, the association mining algorithm is used to divide the power communication network according to the association architecture, and the reliability calculation becomes more efficient and concise by improving the full-end reliability calculation of the network into the sum of the reliability within and between associations. Secondly, for the power communication network with multidimensional environmental factors, the modeling is carried out by normal cloud model, and the simulation environment of power communication network with single route and containing backup route is constructed by combining controlled hybrid random petri network to verify the effectiveness of backup route, and then the backup route selection algorithm is proposed to optimize the reliability of power communication network with the help of optimal backup path selection, and the backup path selection algorithm is verified by simulation The effectiveness of the backup path selection algorithm is verified through simulation to provide theoretical reference for the improvement of the reliability of power communication network.

Key words: Power communication; reliability; community mining; normal cloud model

目录

I

目录

摘要

..... I

Abstract

..... I

第 1 章绪论

..... 1

1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.3 论文的主要内容	4
1.4 论文的章节安排	4
第 2 章电力通信网的可靠性研究	6
2.1 电力通信网现状分析	6
2.2 基于社团结构的复杂网络可靠性研究	7
2.2.1 复杂网络社团定义	7
2.2.2 社团挖掘算法	8
2.3 基于云模型的多维网络环境可靠性研究	9
2.4 本章小结	9
第 3 章基于社团挖掘算法的电力通信网可靠性研究	11
3.1 基于社团结构的电力通信网网络构建	11
3.1.1 社团挖掘算法	11
3.1.2 社团结构的构建	12
3.2 电力通信网可靠性评估算法设计	12
3.2.1 算法设计	13
3.2.2 面向全端可靠性的不交和算法	15
3.3 实验设计与结果分析	17
3.3.1 小型网络设计与仿真	17
3.3.2 中大型网络设计与仿真	18
3.4 本章小结	19
第 4 章基于正态云模型的电力通信网可靠性研究	20
4.1 正态云模型	20
4.1.1 正态云模型定义及构建	20
4.1.2 正态云生成算法	21
4.2 多维环境因素影响下的系统可靠性分析	21
4.2.1 单路由的电力业务传输系统可靠性分析	22
4.2.2 具有备份路由的电力业务传输系统可靠性建模	24
目录	
II	
4.2.3 备份路由选择算法	25
4.3 实验设计与结果分析	26
4.3.1 实验设计	26
4.3.2 结果分析	27

第1章绪论

1.1 研究背景和意义电力系统是国家的基础建设之一，电力系统包含发电、输电、变电、配电和用电五部分，且分布的地区也有所差异[1]。电力通信网、安全稳定控制系统和调度自动化系统是电力系统稳定运行的三大重要保障[2]。电力系统的发展离不开电力通信网的支撑，电力通信网为电力系统提供通信保证服务，合理分配电能，保障电力指标[3]。安全可靠的电力通信网是电力系统不可或缺的一部分，是系统稳定运行的保障。电力系统与电力通信网协同发展，相辅相成[4]。

电力通信网随着电力系统的建设而逐渐铺开，早期的发展规模比较小并且分散，随着电力业务的不断丰富和发展，电力系统的规模发展也越来越大，电力通信网的通信手段也逐渐丰富[5]，从单一的线缆通信逐渐过渡到光纤、卫星通信、无线通信等多种通信方式，覆盖范围也逐渐扩大，电力通信网的性能也较以往有了很大提升[6]。电力系统的稳定安全运行，离不开发电、输电和配电系统的高度自动化配合，

可以快速响应电力系统异常[7]，支撑电力系统快速处理异常情况，保证向客户提供可靠的能源供应，恢复电力系统的稳定运行[8]。其次由于不同电力业务的差异化需求，对电力通信网的可靠性要求也越来越高[9]。

电力通信网的可靠性研究一直以来也备受学界关注，是研究的热点内容之一。

从目前的研究情况分析，电力通信网的可靠性研究仍然存在一些问题，处理信息不确定、概念研究导致可靠性的研究并不能为实际的应用提供很大的参考价值[10][11]。

现有的电力通信经过时间的发展，已经变成一个复杂网络，可靠性的研究需要充分考虑复杂环境的因素[12]。通过对电力通信网的复杂网络架构进行分解，充分考虑网络的复杂性，将复杂关系梳理清楚，可靠性的计算方式也将更加准确。

其次电力通信网所处的环境复杂，受温度、电压、潮湿度等多种环境因素的影响，如果单纯从设备角度出发计算网络的可靠性，并不能全面反映电力通信网的实际可靠性[13]。只有结合环境因素综合计算电力通信网的可靠性，才能准确评价网络，从而比较合理地反映电力通信网的实际可靠度，避免电力通信网的稳定运行风险，减少经济损失，为电力通信网和电力系统的可靠稳定运行提供实际参考依据。

1.2 国内外研究现状电力通信网的可靠性研究领域也是学者关注的热点之一，分析现有的研究成果，可靠性的研究可以分为模拟法、解析法、和人工智能算法等计算方法[14]。研究 2

现状如下：

1) 模拟法

模拟法是指采用随机方式进行系统状态的抽样的算法[15]。根据随机抽样方式的不同，可以分为非时序模拟法和时序模拟法。非时序模拟法主要用于对系统规模和评估速度要求要高的场合，主要是因为算法的计算速度快，算法原理简单[16]。但是非时序模拟法由于不能获取频率信息，所以不能应用在带有间歇式电源的电力系统中。时序模拟法可以模拟系统在各个状态的持续时间和状态之间的转移频率，计算结果准确[17]。但是由于时序模拟法的频率抽样低，收敛性差，所以算法的计算过程中需要使用很大的内存和时间[18]。

模拟法的抽样次数与系统的规模没有直接关系，但是相对误差的平方与抽样次数成反比，所以当系统的规模较大时，模拟法的抽样次数会显著增加[19]，计算精度要求不变的情况下，模拟法的计算效率会大大下降。所以模拟法不适用于大规模且对可靠性要求高的系统[20]。

2) 解析法

解析法的算法思想简单计算量小，可以对系统的可靠性进行准确评估。但是当系统规模庞大，计算量骤增，所以不可用于实际的工程计算[21]。算法的基本思想是首先根据系统结构和系统元器件的关系构建可靠性模型，其次通过迭代或者累计的方式对模型进行求解，最后计算系统的可靠性。解析法根据理论可以分为最小路法、

概率分布法等算法[22]。

a. 最小路法最小路法的算法原理是首先计算负荷点在系统的支路上的最小路，根据网络中的实际情况，累计计算网络中所有不在最小路上的元件将元件发生故障对最小路的影响值[23]。其次，计算最小路上的负荷点进行计算，累加即可得到系统的可靠性指标。流程图如图 1-1 所示： 3

开始输入原始数据搜索输出节点求对应于各输出节点的最小路从输出节点起向上追溯，

依次求出各节点的等效可靠模型

计算系统的其他可靠性指标SAIFI、SAIDI、ASUI等计算各节点的可靠模型结束图 1-1 最小路法的算法流程最小路法充分考虑了系统中其他负荷点对系统可靠性的影响，计算效率也相对

有所提升，算法的难点在于对复杂网络进行可靠性评估时，最小路径的确定问题[24]。

b. 概率分布法概率分布法的原理是基于系统中各个元器件的可靠性累加和。通过对系统中的基本元器件进行定义，整理各个元件的可靠性计算方法，通过分析故障发生时，元件对系统可靠性度的影响，得出元器件的影响因子[25]。其次通过计算各个元件的可靠性与影响因子的累加和，得到系统的可靠性。

概率分布法因为充分考虑实际情况，在工程应用中可以使用。但是由于只考虑原件，并没有考虑连接方式对系统的影响，并且需要全部设备的参数信息，所以算法未被广泛使用[26]。

3) 人工智能算法

人工智能算法是近些年新出现的可靠性分析算法，基于人工智能和生物模式对已有的数据进行处理，得出我们想要的数

的算法过程[27][28]。包含人工神经网络算法和模糊算法等[29][30]。

人工神经网络算法的算法原理类似人脑，算法结构分为输入层、中间层和输出层[31][32]。原始数据经过输入层进入算法，中间层通过对数据分析，建立输入层和输出层的各种连接关系，输出层用于计算数据的输出[33][34]。此算法需要大量的历史数据，且对数据的完整性和准确性要求高，所以算法适用于规模不是很大的系统。

模糊算法结合了概率论和模糊集合论为原理，充分考虑系统的随机性和模糊性对可靠性的影响。模糊算法利用概率论的思想统计设备和系统运行的随机性，利用模糊理论描述系统中的设备等故障的不确定性，利用模糊集合的思想，球的模糊的可靠性指标[35]。本算法充分考虑了系统中的不确定因素对系统可靠性的影响，具有良好的使用价值，但是在建模、选隶属函数方面需要进行进一步研究。

1.3 论文的主要内容本文的主要研究内容如下：

(1) 针对电力通信网的复杂网络结构，基于社团挖掘算法进行可靠性研究。

首先介绍社团结构及社团挖掘算法，基于社团结构搭建电力通信网模型，借助社团挖掘算法完成电力通信网社团结构的建模。然后利用社团结构将电力通信网的全端可靠性求解变成社员内部和社团直接的可靠性之和，提出面向全端可靠性的不交和算法。最后通过搭建小型、中大型网络模拟验证算法的有效性。算法充分考虑复杂网络的特点，将全端可靠性的计算方法变得简洁高效，对电力通信网的可靠性评估具有一定的参考价值。

(2) 针对电力通信中的多个环境因素，基于正态云模型进行可靠性研究。首先介绍云模型的定义及构建方式，基于电力通信网的环境因素构建正态云模型，其次采用受控混合随机 petri 网模拟多维环境，完成电力通信网的建模，通过仿真实验验证建模的准确性，备份路由选择算法，最后进行仿真试验，验证算法对系统可靠性的提升效果。提出的分析方法不仅充分考虑环境因素对电力通信网的影响，还充分分析备份路由对系统可靠性的影响，通过备份路由的最优选择，提升系统可靠性，

对电力通信网的可靠性评估有一定的参考意义。

1.4 论文的章节安排本文开展的具体工作按照章节主要分为以下几部分：

第一章介绍本文的研究背景和意义。对电力通信网进行分析，针对现有的可靠性评估方法进行研究，介绍可靠性评估方法的发展现状，其次对本文的主要研究内容和章节安排进行介绍。

第二章研究电力通信网的可靠性。对网络现状进行分析，说明网络中面临的可靠性问题及开展可靠性评估优化的必要性；其次根据复杂网络和环境因素，研究可靠性评估的优化算法的理论及方向。

第三章研究基于社团挖掘算法的电力通信网可靠性算法。针对现有的电力通信网

的复杂性，引入社团理论和社团挖掘算法，将网络划分为多个社团，其次提出面向全端可靠性的不交和算法，将电力通信网的全端可靠性计算优化为社团内部和社团之间的可靠性之和，更加高效简洁。最后在仿真环境中验证算法在小型、中大型网络中的有效性。

第四章研究基于正态云模型的电力通信网可靠性算法。综合考虑多维环境因素，

确定影响电力通信网质量的因素，由于云模型具有普适性，基于正态云模型完成多维环境的建模仿真，采用受控混合随机 petri 网模拟多维环境，引入正态云模型，完成电力通信网的建模，通过仿真实验验证建模的准确性；其次提出备份路由选择算法，通过在仿真环境中模拟实验结果，仿真验证算法的有效性，为实现系统可靠性的提升提供理论参考。

第五章总结和展望本文的主要工作，深入思考发现尚未完善的地方，提出下一步计划。

第 2 章 电力通信网的可靠性研究

电力通信网的发展影响着电力系统的稳定运行，系统的可靠性一直是关注的焦点之一。本章研究电力通信网的可靠性现状分析，对可靠性算法提升方向进行探索。

首先基于复杂网络，研究社团挖掘算法，为后续算法优化提供理论依据；其次研究多维环境因素对可靠性的影响，基于云模型对网络的可靠性提升进行分析。

2.1 电力通信网现状分析电力通信网是电力系统稳定运行的重要保障之一。随着电力系统的发展，电力通信网也从无到有，从小到大，从简单复杂的发展着。电力通信网存在多种通信方式，目前的通信体系以光线方式为主，PLC、无线、卫星通信等多种通信方式为辅

[37]，发展趋势如图 2-1 所示。随着智能电网和数字电网的概念的提出，当前的电力通信网逐渐智能化、数字化，在传统的电力通信网的基础上，逐渐建立起高速、实时和可靠的新型网络。

图 2-1 电力通信技术发展示意图按照电力通信网不同传输阶段对通信需求的差异，将电力通信网分为骨干通信网和终端通信接入网两部分。其中骨干通信网的覆盖范围为 35kV 及以上电网相关地点，终端通信接入网覆盖范围为 10kV 和 0.4kV 的电网相关地点[38]。具体介绍如下：

电力通信骨干网包含传输网、业务网和支撑网三部分，传输网以光缆网架、光传输网络为主，电力线载波、微波及卫星通信为辅；业务网包含数据通信网、调度交换网、行政交换网、电视电话会议系统等系统；支撑网包含频率同步网、通信网 7 管系统等[39][40]。终端通信接入网包括 10kV 和 0.4kV 通信接入网，10kV 通信接入网承载配电自动化、电能质量监测等业务，采用光纤、无线等多种技术混合组网，是

0.4kV 通信接入网承载业务的上联通道。0.4kV 通信接入网承载用电信息采集、电能采集管理等业务，可选用无线专网、光线专网等通信方式。

电力通信网随着电力系统的发展，已经逐渐复杂化。各个地区内部和之间的关系复杂，通信方式差异化大，因此需要将电力通信网和复杂的实际因素结合起来。

传统的可靠性评估算法已经不能满足实际需求，需要从系统的复杂性和环境因素考虑，明确系统优化的目标，对系统的可靠性进行准确的评估。

图 2-2 电力通信网可靠性模型关于电力通信网的可靠性，有学者指出，电力通信网可靠性是指在系统连续的运行过程中能够保证用户正常通信需求的能力[41]。电力通信网的可靠性反映系统的生存能力和对环境动态变化的适应能力。当前针对电力可靠性的研究分为可靠性分析评估和可靠性保障提升。针对电力通信网的可靠性研究，可以根据以下思路开展，

首先对电力通信网进行分析，将系统可靠性进行分解为子系统可靠性之和的方式，

其次利用可操作的方式计算子系统的可靠性，累加就可以得到系统的可靠性。为了进行准确的可靠性评估，分析电力通信网是必须进行的步骤之一。

2.2 基于社团结构的复杂网络可靠性研究要进行电力通信网的可靠性分析，必须深入理解电力通信网的情况，由于电力业务的丰富和增加，电力通信网越来越复杂，可靠性的计算也变得复杂。借助社团的思想，可以将电力通信网的结构进行分解，拆分为多个社团的可靠性之和，高效简洁地计算系统的可靠性。

2.2.1 复杂网络社团定义有学者研究发现，众多实际网络的公共特征之一是网络均具有社团结构，即网络中的节点根据距离远近被划分到不同的组中，组内的节点关系紧密、距离近，组件的节点关系不紧密、距离较远。如图 2-3 所示，该网络结构拥有三个社团，社团 8

内部的节点关系紧密，社团直接的节点关系相对疏远。

图 2-3 具有 3 个小型社团结构性质的网络社团结构没有标准的定义，描述的是一类具有内部联系的节点群。为了表示社团之间的紧密程度，可以用强社团和弱社团表示社团和节点之间的紧密程度，经量化后为社团挖掘算法提供理论依据 [42][43]。

基于 Radicchi 提出的社团数学化定义，本文对社团的定义如下所示：

在网络G 中，定义任意节点i 的度数为 k_i

$k_i = \sum_j A_{ij}$

式中 A 表示 G 的邻接矩阵。

C 表示单个含有节点 i 的社区，则节点 i 的度数用以下两部分表示：

$k_i = k_i^C + k_i^{\text{ext}C}$

其中， $k_i^{\text{ext}C}$ 为 i 与社团 C 之外的节点连接边的条数， k_i^C 表示 i 与 C 内其

他节点之间的边的条数。如果 C 满足以下条件：

$k_i^C > k_i^{\text{ext}C}$

即社团中任意一个节点与外部节点连接的边数都要小于与内部节点连接的边数，则称子图 C 为强社团。

假如 C 满足以下条件：

$k_i^C < k_i^{\text{ext}C}$

即子图 C 中所有节点与外部节点连接边数之和小于与内部节点连接的边数之和，则称子图 C 为弱社团。

2.2.2 社团挖掘算法经过大量的研究，社团结构是网络中的重要特征已经被广泛认可，所以社团挖掘算法已经是学者研究的方向之一。通过社团挖掘算法，可以发现网络中的社团结构，对于进行网络分析十分有利[44]。社团挖掘算法根据类型可分为基于图划分的算法、基于聚类的算法、基于模块度优化的算法等算法。9

基于图划分的算法主要用于进行局部社团的划分，主要包括层次结构划分、多层次算法和集合算法等，缺点是在计算的过程中可能会需要社团的数量条件，限制了算法的使用范围。

基于聚类的算法是由基于图划分的算法演化而来，算法的本质是寻找删除最小边，就可以将网络划分为不相干网络的办法，即最小割集问题。在算法的发展过程中，最小割集问题演化为图上的谱聚类分析，根据图划分准则的不同，可以采用不同的算法。在小规模网络中，算法的准确性要好，但是由于谱聚类算法的复杂度高，

不适用于大规模的复杂网络。

基于模块度优化的算法的难点在于模块度的最大化，可采用模拟退火、极值优化等近似算法进行模块度的计算。随着人工智能和深度学习算法的快速发展，陆续出现利用自编码器神经网络的损失函数、利用若干映射函数、与其他函数结合的方式求解模块度最大化，促进了社团挖掘算法的优化。

2.3 基于云模型的多维网络环境可靠性研究电力通信网的可靠性评估多从系统本身出发，却忽略了环境因素对系统本身可靠性的影响。由于电力通信网分布广泛，不同地区的环境因素对网络的影响也各不相同，环境因素与系统可靠性的关系，需要进行理论的研究。环境因素会导致电力通信网的路由节点或者链路无法正常工作，影响系统的可靠性。在理想条件下，系统不受环境因素的影响，路由节点和链路正常工作；当处于环境适应范围边界的情况下，系统的可靠性降低，达到系统的最低值；当处于环境适应范围之外时，系统无法完成数据的正常传输。每个系统都有自己的环境适应范围[45]。

电力通信网处在不断变化的环境之中，不能单纯的用几个环境因子来表示环境因素对电力通信网的可靠性影响，需要根据环境的连续变化性质，找到一种可以动态表示环境变化影响系统可靠性的模型，即欢迎适应性的建模问题，有不少文献提出过综合环境试验法、降级危险函数模型法以及云模型方法等方法。云模型可以反映客观世界中的随机性和模糊性，将定性的概念用定量的方式模糊表达出来，因此云模型很适合作为求解环境因素对电力通信网可靠性方法。电力通信网所处的环境是一个多维环境因素影响的动态环境，通过将定性的环境因素，利用云模型转化为定量数值进行求解。在云模型的众多类型中，由于正态云模型适用范围广的特性，

可以反映大部分的模糊概念的隶属云所满足的基本规律，所以本文已正态云模型为依据，进行可靠性的分析。

指 标	
疑似剽窃文字表述	
1.	1.4 论文的章节安排本文开展的具体工作按照章节主要分为以下几部分： 第一章介绍本文的研究背景和意义。
2.	Radicchi 提出的社团数学化定义，本文对社团的定义如下所示： 在网络G 中，定义任意节点i 的度数为i ijj k

2. 015_第2部分		总字数：10822
相似文献列表		
去除本人文献复制比：21%(2278) 文字复制比：21%(2278) 疑似剽窃观点：(0)		
1	2016111420 周萌_基于重要节点和环境因素的电力通信网可靠性分析和优化机制 周萌 - 《学术论文联合比对库》- 2019-03-04	12.6% (1359) 是否引证：否
2	基于重要节点和环境因素的电力通信网可靠性分析和优化机制 周萌 - 《学术论文联合比对库》- 2019-03-01	11.3% (1227) 是否引证：否
3	基于社团结构的电力通信网可靠性评估方法 金文俊(导师：熊翱) - 《北京邮电大学硕士论文》- 2019-06-03	6.5% (704) 是否引证：否
4	S1206559996_金文俊_基于社团结构的电力通信网可靠性评估方法 金文俊 - 《学术论文联合比对库》- 2019-04-09	6.0% (651) 是否引证：否
原文内容		

2.4 本章小结 10

本章研究电力通信网的发展现状，针对电力重点关注的可靠性进行研究，在电力业务种类和数目繁多的现状下，可靠性的评估办法对电力系统的稳定运行至关重要，亟待利用新的技术手段进行升级优化；其次深入研究当前现有的可靠性评估方法，结合国内外先进技术的研究现状，利用社团挖掘算法和正态云模型理论对现有的可靠性方法进行改进，研究可靠性优化算法的理论依据，通过与电力通信网进行适配，提升电力通信网的可靠性评估，对于电力通信网的稳定运行有积极意义。 11

第 3 章基于社团挖掘算法的电力通信网可靠性研究

2.2 节分析复杂网络的分析方法，提出采用社团的思想解决复杂网络的分析问题。本章基于社团理论，将复杂的电力通信网划分为多个社团网络，改进全端可靠性的计算方法，通过计算社团内部和社团之间的全端可靠性的和，得出电力通信网的可靠性，通过在仿真环境的不同规模的网络中进行验证，算法均有比较好的时效性。

3.1 基于社团结构的电力通信网网络构建

3.1.1 社团挖掘算法网络中存在多种结构，其中社团结构是最常见的一种。为了更好地理解网络的功能与基本结构，就必须对社团结构进行分析。本文从模块度（Modularity）的角度出发，来衡量一个社团结构的划分质量。所谓模块度是通过比较社团网络与其空

模型，得出其模块度矩阵值，通过判断该值的大小来衡量该社团网络的划分质量。

Clauset、Newman 和 Moore 提出了一种 CNM 算法，该算法以贪婪的凝聚思想为基础，本文采用该算法进行社团网络的划分，同时为了降低算法的复杂程度引入了辅助向量，其过程如下：

1）初始化：首先将每个点的模块度值都设为 0，令社团间和辅助向量的权重分别取如下值： 1，(2) 0,

ij
i j
Me
i j =
当节点和节点之间有连边当节点和节点之间没有连边 (3-1)
/ 2i
i
a =k (M) (3-2)
初始化模块度增量矩阵中的元素如下： , 0,
ij i j
ij
e a a i j
Q

$i, j =$

当节点和节点之间有连边 当节点和节点之间没有连边 (3-3)

2) 选择最大的 i

j

Q , 并将社团 i 和 j 进行合并, 更新矩阵 i

j

Q 和辅助向量 i_a ;

i, j

Q 更新: 删除元素 i

j

Q , 更新元素 i

i

Q , 更新元素 j

j

Q 如下: ' 2 2

i, k, j, k

j, k, i, k, j, k

i, k, i, k

Q, Q, k, i, j

Q, Q, a, a, k, i, j

$Q, a, a, k, j, i + = - -$

, 当社团与、之间都有联系

, 当社团与相连, 与不相连

, 当社团与相连, 与不相连 (3-4) 12

分别更新辅助向量 a 和模块度值, 辅助向量更新公式为: ' j

i, j

$a = a + a$ 。模块度

值更新公式为为: i

j

$Q = Q + Q$ 。

3) 如果模块度矩阵中存在大于零的元素是, 循环执行步骤 2 直到所有元素小

于零, 此时完成网络的社团结构划分。

3.1.2 社团结构的构建 电力通信网络具有复杂网络特性并且呈现出明显的社团结构特征, 以上这些特性可以通过复杂网络理论对电力通信网络进行分析得到。基于电力通信网络的社团结构特征, 可利用 Fast Unfolding 算法对其进行深度解析。

电力通信网络通常采用分区的方法进行管理, 该方法可以有效地实现各个分区电网高效管理、控制简单的目标。各个分区相对独立的管理方式, 可有效减小彼此之间的影响, 例如当 A 区域的电网出现故障时, B 区域的电网可正常运行, 因此正确的区域划分是实现科学、高效的电网运行的重要前提。在我国各个区域电网的划分主要以行政区域为依据, 各区域内部联系紧密, 而区域之间联系相对疏松, 这些特征均符合复杂网络中社团网络的特点。为了进一步提高电力网络的管理水平, 将社团划分的方法应用于电力通信网络之中具有重大意义。

分裂法将网络中相似性较低的节点之间的联系移除, 而凝聚法则是在网络中联系性较高的节点之间添加联系, 以上两种方法是目前常用的社团挖掘算法。通信社团的结构强度(划分效果)由其模块度来进行评判, 模块度越大节点之间的通信鲁棒性越好, 模块度越小节点之间的通信鲁棒性越差。

Fast Unfolding 算法主要由 Modularity 和 Community Aggregation 两部分组成,

前者将节点放入与之相连的通信社团中以获得更大的模块度, 后者将形成的社区聚

合成一个点, 即重构社团网络。传统算法属于监督式算法, 需要设置社团个数, 而 Fast Unfolding 算法不需要设置社团个数, 通过重构社团, 可以获得较高模块度的社团网络, 具有效率高的特点。

3.2 电力通信网可靠性评估算法设计基于社团挖掘算法的电力通信网可靠性首先利用社团理论将电力通信网划分为不同的相互独立的社团结构, 利用分治的思想理论, 将电力通信网转化为不同社团的组合, 通过全端可靠性的计算方法, 实现系统可靠性为社团内部和社团直接可靠性和的计算方法。 13

3.2.1 算法设计定义具有社团结构的电力通信网的常见符号如表 3-1 所示。

表 3-1 算法符号描述

符号描述

G 无向网络拓扑图

$R(G)$ $Pr(A)$ G 的全端可靠性 C G 的社团集合

(i) $i \in C$ 社团 i 的全端可靠性

i

V_C 社团 i 内部的节点集合

i, j

p_{ij} 节点 i, j 可通信的概率

i, j

S 社团 i 与 j 之间的连接强度

sample

G 网络的社团拓扑图

()s

ample

R G s

ample

G 的全端可靠性

Pr(A) 事件 A 发生的概率

Pr()_{iv} 节点_{iv} 正常工作的概率

_{ij}

E

社团_i 内部第 j 个最小路集中的链路正常工作
工作的时间

_i

D s

ample

G 中第 i 个最小路集正常工作的时间

电力通信网社团连接强度 S 表示社团与社团之间的通信能力。当不同社团_{iC}、

_j

_C 之间能够完成通信，即至少有一条边能够正常工作，其中社团连接强度与两个节点直接的链路可靠性有关。用以下公式表示，1 1)

_{i j}

_{ij ab}

_{a C b C}

$S_{p} = - (- (3-5))$

上式中，a

b

p 表示电网节点 a 与 b 之间光纤正常运行的概率。当社团之间的链路全都断开，则连接强度为 0。连接强度的取值范围为 0-1，当连接强度越大，社员直接的通信能力越好，反之则通信能力越差，当连接强度为 0 时，社团之间不可达。

电力通信网社团拓扑图

ample

G 表示社团集合C和连接强度集合 S 构成的一个无

向有权拓扑图，用 (,)s

ample

G =C S 表示。

根据上述定义，提出基于社团挖掘算法的电力通信网可靠性算法，如图 3-1 所示。 14

开始

电力通信网建模Step=0

初始化节点社团号Step=Step+1

根据模块度Q差值

更新节点所属社团

Step<NStep

Yes

算法初始化通信社团划分社团内部全段可靠性分析社团间全段可靠性分析寻找社团内部所有最小路集基于最小路集计算社
团内部全段可靠性构建电力通信网社团拓扑结构寻找社团之间所有最小路集基于最小路集计算社团之间全端可靠性

输出全段可靠性N0

图 3-1 可靠性算法流程算法的原理如下：首先分析电力通信网的复杂网络架构，基于社团挖掘算法将电力通信网划分为若
干个独立的互不相干的通信社团结构。其次针对可靠性的求解，可按照网络层次进行分解，分为社团内部和社团直接对可靠性
进行求解，复杂度大大降低。采用最小路基的可靠性求解方法求解社团内部的可靠性，再分析社团之间的全端可靠性，即可得
到电力通信网的可靠性。算法的理论思路为：

1) 算法初始化。根据实际的电力通信网拓扑结构，构建无向有权图 G ，图中
的节点和链路的权值分别用来表示为节点、链路的能力，及是否能够正常工作。

2) 通信社团划分。研究社团挖掘算法，基于并行化 Fast Unfolding 算法对电力
通信网进行分析，实现对电力通信网的社团结构的挖掘，完成拓扑图G 的社团集合C 的构建。

3) 社团内部的全端可靠性计算。基于最小路集的算法求解通信社团内部_{iC} 全

端可靠性，计算为公式 (3-6)：

() Pr() Pr()

_j

_{t i}

_n

_{ij t ij}

$$v \in VC_j$$

$$R_{C_v E} = \prod_{i \in C_v} p_i \quad (3-6)$$

上式利用最小路集原理对社团内部全端可靠性进行了计算，充分考虑了节点 / 链路都存在失效可能。假设社团 $i \in C$ 内部具有

i 条最小路集， $Pr(\cdot)$

t_i

t

$v \in VC$

v

代表节点正 15

常工作的概率， 1

$Pr(\cdot)$

j

n

i_j

j

$E =$

代表社团内部至少有一个最小路集中的所有边同时工作的概率。

4) 社团之间全端可靠性的计算。根据社团结构的构建可以计算出公式

$(\cdot, \cdot)_s$

ample

$G = C \cup S$ 。即 社团之间的可靠性可用内部社团顶点正常工作的概率与存在一条连通所有社团的最小路集的边的概率的乘积。

定义公式如下： $\prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n Pr(\cdot)$

$(\cdot, \cdot)_s Pr(\cdot)$

nm

sample t_i

t_i

$R_{G_{RCD}} = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n p_i \quad (3-7)$

假设电力通信网被划分为 n 个社团， 1

$\frac{n}{i}$

$\frac{i}{i}$

$\frac{i}{i}$

$C =$

为全部通信社团能够正常工作的概率， i_D 为最小路集 i 中的所有链路正常工作概率， m 为sampleG 最小路集的个数。

3.2.2 面向全端可靠性的不交和算法不交和算法可以将非独立时间的概率运算转化为机器语言进行仿真，是求解网络可靠性的有效方法。本文使用不交和算法对公式(3-4), (3-5)中的 1

$Pr(\cdot)$

j

$j \in n$

i_j

j

$A = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n p_i$

和 1

$Pr(\cdot)$

m

i

i

$D =$

进行计算，具体的求解步骤如下：

在无向图 $G=(V, E)$ 中，定义 i_A 为最小路集 i 中的所有边

i

E 都正常工作的事件，

i

A 为边 $(i) \in E - E$ 都正常工作的事件。根据定义可知： $\prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n p_i \prod_{k=1}^m p_k$

$Pr(\cdot)$

$Pr(\cdot) Pr(\cdot)$

$Pr(\cdot) Pr(\cdot) Pr(\cdot)$

n

i

i

n_i
 i, j
 i, j
 n_i
 j, j, i
 i, j
 A
 A, A, A
 $A, A, A, A = - = - = - = - = + = + = - \quad (3-8)$

上式中:

$Pr(\cdot) Pr(\cdot) i$
 k, k, i
 $A = e, e, E \quad (3-9)$

根据公式: $1, 1, 1, 1$
 $Pr(\cdot) Pr(\cdot) 1 Pr(\cdot)$

i, n, n
 i, i, i
 j, i, i
 $A, A, A - - = = = - \quad (3-10)$

可以将公式 1

$Pr(\cdot)$
 n
 i
 i
 A
 $=$ 进一步进行转换为: $16, 1, 11, 1$
 $Pr(\cdot) Pr(\cdot) (1 Pr(\cdot))$
 n, n, i
 i, j, i
 i, i, j
 $A, A, i, A, A - = = = - - \quad (3-11)$

递归不交和算法 (Recursion SDP) 依据式 (3-7) 求解 不交积之和的算法。不交和算法可以用 $SDP(P, Edge, N)$ 表示。针

对无向图 $G=(V, E)$, $1, 2$

$\{ \} NP = PP, P$, P 中包含图中所有最小路集, $1, 2$
 $\{ , , \} i$
 t
 $P = e, e, e$, iP 中包含了第 i 个最小路集中包含边的序号, $1, 2$
 $\{ Pr(\cdot), Pr(\cdot), Pr(\cdot) \}, n$
 i
 $Edge = e, e, e, E$, $Edge$ 中 存储了图 G 中所有边的权值。

表 3-2 递归不交和算法

Re cursion SDP

input: $1, 2, 1, 2$

$(, , ,), 1 \{ , , \} n$

i
 $P = P, P, P, P = e, e, e, 1, 2$
 $\{ Pr(\cdot), Pr(\cdot), Pr(\cdot) \}, nedge = e, e, e, N$

output: R

1. function $SDP(P, edge, N)$

2. $R, 1$

3. for $P_i = P /$ //遍历所有路集

4. if $i == 1$ then

5. for $j = 1 ; .jj P \text{ length} ; j ++ ;$ //第一个路集连通概率 $1Pr(A)$ 计算

6 $[()] iR R edge p j$

7 endfor

8 else

9 temp = $\{ \}$

10 for $t = 2 ; t r ; t ++ ;$ do // 递归函数

11 . $(\setminus) t$

t

temp add p p


```

12 endfor
13 1R SDP(temp, edge.templength) //递归函数
14 2R 1
15 for t =1; .it P length ; t + + ; do 16 2 2
[ ( )]iR R edge P t
17 endfor 18 2 1
R R +R (1-R)
19 end if
20 endfor
21 eturn R
22end function 17

```

3.3 实验设计与结果分析

3.3.1 小型网络设计与仿真通过在仿真环境中搭建电力通信网拓扑架构，进行网络的设计与仿真。首先使用 5 个含有 6 个节点数目的简单图对算法进行性能分析，定义 5 张图的节点可靠度为 1，拓扑结构如图 3-2 所示。本章选取的对比算法为准确的全端可靠性数值和随机划分社团方式，通过在 5 个拓扑逐渐复杂的网络中进行性能对比，验证分析本章算法的性能。

图 3-2 测试用例图对简单网络进行社团划分，基于模块度的算法，将网络划分为图 3-3 所示，颜色相同的为同一社团，社团内部的节点的可靠性高于社团之间的可靠性。

图 3-3 测试用例社团划分针对小型网络的设计与仿真，本章首先利用传统的全端可靠性的求解方式得出小型网络的可靠性，然后利用本章的算法求解网络的全端可靠性，对比两种算法的可靠性的值，验证算法的有效性和准确度。其次利用随机方式划分网络，求解划分后网络的全端可靠性的值，与本章算法的可靠性的值进行对比，验证社团挖掘算法的有效性。18

图 3-4 算法结果对比图上述的实验仿真结果分析图如 3-4 所示，由图可知，随着网络结构的复杂程度的提升，网络的可靠性也在逐渐增加。对比不同算法之间的可靠性差异，本章算法与全端可靠性准确值总体趋势保持一致，且随着网络趋势的复杂化，误差也在逐渐缩小。而本章算法与随即划分社团方式的可靠性对比，差异较大，趋势发展不同，

且误差越来越大，这是由于随机划分子网络的方式可能会将一些关键路合并，导致全端可靠性的误差变大，所以会出现网络的无向变数虽然增加，但是全端可靠性却仍在降低的情况。

3.3.2 中大型网络设计与仿真本文选取 1979' sArpanetde 骨干网络 Red ARPA 验证本章算法在中大型网络中的性能，这个网络是一个中型网络，结构包含 20 个节点，32 个边。拓扑结构如下：

图 3.5 red Arpa 骨干网拓扑结构根据社团挖掘算法的理论，令 red Arpa 骨干网的网络节点可靠度都为 1，每条 19 链路的可靠度分别取值 0.90、0.98、0.99。在中型网络的对比中，本章选择 Jacobs

算法、Ball-provan 算法、RMI 算法与本章算法进行对比，计算在不同链路下的各个全端可靠性，验证本章算法的有效性。

图 3-6 各类算法结果对比图中型网络中的算法仿真结果如图 3-6 所示，由图可知，本章算法相较于传统的全端可靠性算法具有良好的全端可靠性下界计算方法，可以在链路可靠度较低的时候，仍能提供保持良好的全端可靠性分析。在时间复杂度上，由于通过社团划分的方法，降低了网络拓扑的复杂难度，且社团网络架构中的定点数、变数和生成树的数目均小于原图，减少了生成树的查找，减少了计算的过程和时间，计算更加简单、

快速。由于社团与社团之间具有相对独立性，通过引入的并行计算，可加快全端可靠性的计算过程，减少计算的时间。由小型和中大型网络仿真结果可以分析，本章的算法，随着网络复杂度的提升，算法有效性会越来越明显。

3.4 本章小结本章首先介绍了基于社团结构的电力通信网的构建，基于社团挖掘算法完成电力通信网社团结构的建模。然后借助社团结构将电力通信网的全端可靠性求解变成社员内部和社团直接的可靠性之和，提出面向全端可靠性的不交和算法。最后通过搭建小型、中大型网络模拟验证算法的有效性。本章的算法充分考虑复杂网络的特点，将全端可靠性的计算方法变得简洁高效，对电力通信网的可靠性评估具有一定的参考价值。20

第 4 章基于正态云模型的电力通信网可靠性研究

由于电力通信网的环境受多种因素影响，随时间在不断动态变化，为了进一步研究网络的可靠性，本文综合考虑多维环境因素，确定影响电力通信网质量的因素，

进一步电力业务传输的可靠性。由于云模型具有普适性，基于正态云模型完成多维环境的建模仿真。本章采用受控混合随机 petri 网模拟多维环境，引入正态云模型，

完成电力通信网的建模，通过仿真实验验证建模的准确性；其次提出备份路由选择算法，仿真验证算法的有限性，实现系统可靠性的提升。

4.1 正态云模型

4.1.1 正态云模型定义及构建

1) 正态云模型的定义

云模型表示事务从定性到定量的过程。电力通信网的环境因素在不断地动态变化，可以将环境因素视为一个不断变化的动态参数，利用云模型实现对环境因素的定量化处理。由于正态云模型具有普适性，本章选用正态云模型来实现对环境因素的建模。

根据正态云模型的理论，对电力通信网中的参数进行定义。环境变量定义为

$() \{ \}$, $[1,]iENM i = e i m i Z$ ，上述集合中 m 表示环境变量总数。集合中的每一个

i
 e ，必定对应一个模糊集合 $\{ () \}$, $()i$

i
 $FUZ = f e e ENM i$ ，模糊集合中的 $()if e$ 表示
 i

e
的隶属度。 μ_{ie} 与 (\quad)

i
 f_{ie} 一一对应, 当 μ_{ie} 的取值足够多时, (\quad)

i
 f_{ie} 逐渐趋向于一个稳定
数值, 此时 (\quad) f_{ie} 的分布为

i
 e 的隶属云, 期望曲线近似于正态分布, 所以称为正态云模型。

2) 正态云模型特征参数

分析电力通信网的环境因素, 定义环境因素由以下三个主要特征表示: 期望 E 、带宽 B 和方差 V 。期望 E 的表达式如下

: $2 \times 2 \times (\quad)^2$

$x \in E$
 $\mu_{ye} = \quad (4-1)$

上式中, 期望表示电力通信网中, 电力业务传输的过程中可靠性达到最大值时的环境因素的值。

带宽 B 用来度量环境因素模糊度。方差 V 用来反应正态云的离散程度。

3) 正态云模型参数

由于数据收集的限制, 本章采用指标近似法的公式来求解正态云模型的三个特征参数。假设在电力通信网中, 环境因素存在适应性边界值

$\min \max$
 $[F, F]$, 则特征参
数计算公式如下:

$\max \max$
 $E = (F_{\max} + F_{\min}) / 2 \quad (4-2)$

$\max \max$
 $B = (F_{\max} - F_{\min}) / 2 \quad (4-3)$

$V = \sigma^2 \quad (4-4)$

上述期望 E 、带宽 B 和方差 V 的计算公式表示一个单一环境因素的正态云模型的计算过程。由于实际的电力通信网存在多个环境影响因素, 因此需要利用指标近似法计算多个环境因素的正态云模型参数。多维环境下的正态云模型的表达式如下:

$1 \times 1 \times 1 \times 1$
 $[(\quad, \quad, \quad), (\quad, \quad, \quad), (\quad, \quad, \quad)] m_i$

$i \in 1, 2, \dots, m$
 $cloud \ E \ E \ E \ B \ B \ B \ V \ V \ V = \quad (4-5)$

上式中, m 表示环境因素的个数, $cloud$ 表示第 i 个环境因素的正态云模型, iE 、

iB 和 iV 表示第 i 个环境因素正态云参数。

4.1.2 正态云生成算法根据正态云模型的理论, 当计算出正态云模型的三个特征参数后, 可通过参数生成一定数量的云滴, 将云滴叠加形成正态云模型。正态云模型的生成算法表示为:

算法: 正态云生成算法输入数据: E, B, V

输出数据: $cloud$

算法流程:

1. for i in m
2. while 云滴的数目达到构成正态云模型的临界值
3. t 以 B 为期望值, V 为标准差, 生成一个正态随机数 E

4. t

i
以 E 为期望值, B 为标准差, 生成一个正态随机数 x 5. $2 \times 2 \times (\quad) / 2$

$(\quad, \quad), ix$

$E \ E \ t$

$i \ i \ i$

$x \ y \ y \ e$

— 根据生成的两个随机数, 可以得到云滴 $drop =$

6. end while

7. end for

4.2 多维环境因素影响下的系统可靠性分析

4.2.1 单路由的电力业务传输系统可靠性分析由于电力通信网所处的环境是在不断的变化, 普通的 petri 网表示的是离散动态时间的模型, 为了使用 petri 网构建电力通信网的模型, 充分考虑电力通信网中的温度、电压等多维环境因素, 结合正态云模型生成算法, 引入受控混合随机 petri

网对电力通信网进行建模。基于 petri 网构建的电力通信网模型如图 2-6 所示, 单线框表示离散部分, 双线框表示连续部分, 表 2-1 表示各个符号的意义。

图 4-1 单路由下电力通信网的 CHSPN 模型表 4-1 图 4-1 中各符号对应的实际含义符号实际含义

PeP 工作环境为可变工作环境

eg

P 受环境影响的数据传输失效的概率

g

P 电力系统中，路由正常工作的概率

b

P 电力系统中，路由发生故障，无法正常工作

a

t 网络的环境适应能力

g

t 电力业务传输的失效行为

X 主要环境因素

f(X) 电力业务传输失效概率的估计值在实际的电力通信网中，传输路径为均含有主备路由，备份路由作为冗余，保证电力通信网的可靠性。具有备份路由的电力通信网的整体架构如图 4-2 所示，当路由正常时，主路由正常工作，备份路由待命；当主路由发生故障后，进入修复模式后，如果备份路由的可靠性高于阈值，则备份路由开始工作，如果备份路由的可靠性低于阈值，则暂时进行数据传输，待主路由修复完成立刻切换主路由进行数据传输，备份路由进入修复状态。 23

图 4-2 具有备份路由的电力通信网整体架构通过对单路由和备份路由的电力通信网建模进行分析，可以得到基于多维度环境因素的电力通信网 CHSPN 模型，如图 4-3 所示。模型中参数的意义如表 2-2 所示。

图 4-3 具有备份路由的电力通信网 CHPSN 模型表 4-2 图 4-3 中各库所、变迁和其他参数的意义 24

库所 P 变迁 t 和其他参数

? (1, 2)i

e

P i = 主、备路由所处环境

(1, 2)i

a

t i = 主

、备路由的环境适应性变迁

(1, 2)i

eg

P i = 当前环境下主、备路由失效的变迁率

(1, 2)i

g

t i = 主、备路由的失效变迁

(1, 2)i

g

P i = 主、备路由均正常工作

(1, 2)i

s

t i = 备份路由是否正常工作

(1, 2)t

b

P i = 主路由或者备份路由故障，进入

修复状态 m

t

备份路由代替主路由工

作的切入变迁

s

P 备份路由代替故障主路由工作 (1, 2)i

n

t i = 备份路由工作时，主路由

是否完成修复

m

P

备份路由处于正常状态，即将代替主路由工作

(1, 2)i

f

t i = 备份路由失效时，主路由

是否修复完成

n

P

主路由失效，进入修复状态。备份路由正式进行数据传输工作

(1, 2)if X i = 主
、备路由所处的环境因素
f
P 整个电力通信网失效 () (1, 2)if X i = 当前环境下主路由或者备份路由的失效率

4.2.2 具有备份路由的电力业务传输系统可靠性建模在单路由或者具有备份路由的电力通信网中，将多维环境因素的正态云模型引入 CHSPN 模型中，通过在仿真环境中进行模拟验证，算法流程如下：

算法4 -2 基于CHSPN的系统可靠性求解算法

输入值： (,), s
tart end main
电力业务传输系统拓扑G V L 电力业务传输起点v 和v 以及主路由l
输出值：系统可靠度R(t)
算法流程：
1: [,]s
tart end
指定电力通信网的可靠性分析的时间段t t
2: s
tart end start, end
确定v 到v 所有路由L
3: , in start endfor l L
4: 确定电力业务路由l所处的多维环境因素ENV(i), i [1, m] i Z
5: for i in m
6: m
in max
确定第i个环境因素的环境适应性边界[F(i), F(i)]
7: , , i
i i
利用指标近似法求解正态云模型的特征参数E B V
8: i 计算第i个环境因素的正态云模型cloud
9: end for 25
10: 计算多个环境因素影响的正态云模型cloud
11: end for
12: 确定电力通信网的CHSPN模型
13: while [,]s
tart end
t in t t
14: 确定每个路由上各个环境因素的取值，根据各个路由的多维环境因素的正态云模型，进而计算该路由的失效率
15: t
otal
提前确定算法的仿真次数C
16: t
otal
while 仿真次数未超过C
17: 基于蒙特卡罗方法计算系统可靠度。

指 标
疑似剽窃文字表述
<div>1. 的全端可靠性C G 的社团集合 ()iR C 社团 i 的全端可靠性 i VC 社团 i 内部的节点集合 ij p</div> <div>2. 个最小路集中的链路正常工作的时间 i D s ample</div>

- G 中第 i 个最小路集正常工作的
- 社团之间的可靠性可用内部社团顶点正常工作的概率与存在一条连通所有社团的最小路集的边的概率的乘积。
 - 合并，导致全端可靠性的误差变大，所以会出现网络的无向变数虽然增加，但是全端可靠性
 - 令 red Arpa 骨干网的网络节点可靠度都为 1，每条 19 链路的可靠度分别取值 0.90、0.98、0.99。
 - 可靠性。由于云模型具有普适性，基于正态云模型完成多维环境的建模仿真。本章采用受控混合随机 petri 网模拟多维环境，引入正态云模型，
 - 系统可靠性的提升。
 - 4.1 正态云模型
 - 4.1.1 正态云模型定义及构建
 - 1) 正态云模型的定义
 - 隶属云，期望曲线近似于正态分布，所以称为正态云模型。
 - 2) 正态云模型特征参数
 - 分析电力通信
 - 4.1.2 正态云生成算法根据正态云模型的理论，当计算出正态云模型的三个特征参数后，可通过参数生成一定数量的云滴，将云滴叠加形成正态云模型。
 - 表示离散部分，双线框表示连续部分，表 2-1 表示各个符号的意义。

图 4-1 单路由下电力
 - 可变工作环境

eg

P 受环境影响的数据传输失效的概率

g

P 电力系统中，路由正常工作的概率

b

P
 - 路由修复完成立刻切换主路由进行数据传输，备份路由进入修复状态。 23

图 4-2 具有备份路由的电力通信网整体架构通过对单路由和备份路由的电力

3. 015_第3部分			总字数：3369
相似文献列表			
去除本人文献复制比：10.2%(342)		文字复制比：10.2%(342)	疑似剽窃观点：(0)
1	<u>基于重要节点和环境因素的电力通信网可靠性分析和优化机制</u> 周萌(导师：芮兰兰) - 《北京邮电大学硕士论文》 - 2019-05-30	9.2% (311) 是否引证：否	
2	<u>云模型在系统可靠性中的应用研究</u> 付倩(导师：蔡之华) - 《中国地质大学硕士论文》 - 2011-05-01	0.9% (30) 是否引证：否	
原文内容			

根据随机事件，判断各台路由的失效率及离散变迁情况，并验证网络是否失效。

```

18: end while
19: f
ailure
总体计算失效次数C
20: ( ) 1 /f
ailure total
求得电力通信网的可靠度R t = -C C
21: end while

```

4.2.3 备份路由选择算法在电力通信网中，不同的备份路由的环境因素不同，当选择不同的备份路由，系统的可靠性也会发生变化。本文提出备份路由选择算法，目的是降低因路径不同引发的系统可靠性差异，令系统的可靠性达到最高。

算法4-3 备份路由选择算法

输入数据： (,),s

```

tart end main

```

电力通信网拓扑G V L 数据传输起点v 和v 以及主路由l

输出数据： o

```

ptimal

```

最优备份路由l

算法流程：

```

1: ,s
tart end backup main backup
确定v 到v 的所有业务数据传输的备份路径l 1 L
2: for in b
ackup
l L
3: 基于CHSPN的系统可靠性求解算法，计算当备份路由为l是系统的可靠度变化
( )l函数R t
4: end for
5: ( )l比较在每条备份路由l下的R t 函数取值情况，从而确定使得电力通信网可靠度
o
ptimal
达到最优的备份路由l 26

```

4.3 实验设计与结果分析

4.3.1 实验设计图 4-4 为某省电力通信网的网络拓扑图。假设起点和目标节点分别为1v 和 11

v ,
则1v 到 11
v 表示数据传输方向，主路由路径1 7 11
v -v -v，备份路由 1 路径 1 2 8 11
v -v -v -v，备份路由 2 路径1 5 9 11
v -v -v -v，备份路由 3 路径1 3 6 11
v -v -v -v。

在仿真实验中，选取主路由路径作为主路由，备份路由 1 的路径作为备份路由。

图 4-4 电力通信网络拓扑图根据实际情况进行分析，显示环境中的最大影响因素是温度和电压，因此在进行多维正态云模型的环境参数的考虑是，要把温度和电压等参数计算进去。各个路由受环境因素影响的表达式如表 4-3 所示，时长 t 以 10 天为单位。

表 4-3 路由受环境因素影响公式路由电压适用范围电压变化表达式温度适用范围温度变化表达式主路由 220 40V 220

40cos(314t) -20C~ 60C 2
20 20sin() 365 24 2
20sin() 24
t
t + +
备份路由1 22030V 22030cos(314t) -15C~ 55C 2
20 20sin() 365 24 2
15sin() 24
t
t + +
备份路由2 220 20V 220 20cos(314t) -10C~ 50C 2
20 20sin() 365 24 2
10sin() 24
t
t + + 27
备份路由3 22010V 22010cos(314t) -5C~ 45C 2
20 20sin() 365 24 2
5sin() 24
t
t + +

4.3.2 结果分析

1) 电力通信网可靠度

在仿真环境中搭建图 4-1 所示的网络拓扑图，验证多维环境因素和备份路由因素对系统可靠度的影响。在仿真环境中，理想环境的温度为20C，电压设定为 220V，

起点和目的节点为1v 到 11

v，主路径和备份路径按照实验设计搭建，仿真时长为 1 年，

仿真结果如图 4-2 所示。从仿真结果分析，理想环境下的系统可靠性最高，但是由于实际环境中存在多种影响因素，所以实际环境下的系统可靠度会偏低。对比有环境影响因素影响下的仿真，存在备份路由的系统可靠性比单路由的系统可靠性有大幅度提升，两个网络中的系统可靠性均是降低再增加，在 240 天左右达到最小值。

分析环境因素的影响，由于当时季节为夏季，环境温度高，用电量增大，电压值也达到了最大，所以系统可靠性会比其他时间可靠性低很多，因此，本文算法不太适合在温度较高的环境下使用，性能提升效果不明显。

图 4-5 多维环境因素和备份路由对系统可靠度的影响

2) 基于备份路由的电力通信网可靠性优化仿真分析

通过在仿真环境中验证本文算法与对比算法的系统可靠性的性能，对比算法选择基于可修系统的 - 理论算法。仿真结果

如图 4-6 所示, 本文算法明显比对比算法具有更好的规律性, 原因是本文算法充分考虑了环境因素对电力通信网可靠性的影响, 而对比算法没有考虑环境因素的影响, 系统可靠性不可预估, 呈现随机分布的状态, 算法应用具有一定的局限性。

图 4-6 两种算法下系统可靠度变化曲线

3) 备份路由选择

在电力通信网中, 通过给主路由添加备份路由的方式, 可提升通信网络系统的可靠性。在电力通信网中, 不同的备份路由对系统可靠性的影响程度不同, 因此如何选择最合适的备份路由是需要进行决策的, 从而使得电力通信网的系统可靠性达到最高。基于备份路由选择算法和 CHSPN 模型, 通过在实验环境中仿真, 结果如图 4-7 所示。由图可知, 三条备份路由中, 备份路由 1 的系统可靠性好于备份路由 2、备份路由 3, 原因是备份路由 1 所处的电压、温度等环境因素要好于其他两个备份路由, 所以备份路径 1 的系统可靠性最好。因此在实际环境中, 采用备份路由 1 作为主路由的备份路由是最合适, 可以令系统的可靠性达到最高。 29

图 4-7 不同备份路由对系统可靠度的影响

4.4 本章小结本章首先介绍了云模型的定义及构建方式, 基于电力通信网的环境因素构建正态云模型, 其次采用受控混合随机 petri 网模拟多维环境, 完成电力通信网的建模,

通过仿真实验验证建模的准确性, 备份路由选择算法, 最后进行仿真试验, 验证算法对系统可靠性的提升效果。本章所提出的分析方法不仅充分考虑了环境因素对电力通信网的影响, 还充分分析备份路由对系统可靠性的影响, 通过备份路由的最优选择, 提升系统可靠性, 对电力通信网的可靠性评估有一定的参考意义。 30

第 5 章结论与展望

电力通信网的业务种类和数目在不断地增长和变化, 对系统可靠性的要求也逐渐迫切, 研究系统可靠性优化算法势在必行。由于电力通信网环境复杂, 传统的可靠性分析方法对复杂网络的可靠性较差, 本文针对复杂网络的特性, 提出基于社团挖掘算法的可靠性分析; 其次由于温度、电压等环境因素的影响, 系统的可靠性也会受到影响, 针对多维环境因素, 提出基于正态云模型的可靠性评估方法。主要的工作如下:

(1) 基于社团挖掘算法的电力通信网可靠性研究和仿真。针对网络环境的复杂性, 基于网络分治的思想和社团挖掘算法, 将网络的全段可靠性分解为社团内部和外部的可靠性之和, 通过在不同规模的网络环境中对算法的准确性进行验证分析, 评估算法的准确性和时间复杂度。本算法与另外一种全端可靠性分析方法在不同的规模网络中对比, 算法具有更高的准确度且具有很强的适用性。

(2) 基于正态云模型的电力通信网可靠性研究和仿真。针对电力通信网多维环境对可靠性的影响, 采用正态云模型对环境因素进行定义, 基于受控混合随机 petri 网对电力通信网进行建模分析, 在仿真环境中验证多维环境因素对电力通信网可靠性的影响。其次针对含有多条备份路由选择的问题, 提出备份路由选择算法, 通过最优备份路由的选择, 实现电力通信网的可靠性最优, 通过仿真验证了算法的有效性, 为电力通信网的可靠性提升提供新的思路。

本文提出的基于社团挖掘算法和正态云模型的可靠性评估分析算法, 提升了电力通信网可靠性评估算法的性能。但由于时间和工作条件的限制, 本文的工作还需要进行进一步实际验证, 后续工作主要包括: 目前的检测算法是针对可靠性评估进行研究, 只在仿真环境中进行验证, 后续会结合工程实际, 进一步验证可靠性评估算法的性能。 31

参考文献

- [1] 赵子岩, 刘建明. 基于业务风险均衡度的电力通信网可靠性评估算法[J]. 电网技术, 2011, 35(010):209-213.
- [2] 齐苗苗. 电力通信网可靠性评估软件设计及实现[D]. 华北电力大学.
- [3] Ye-Ning L, Chun-Xin W, Wei T, et al. Research on the Key Technology and Main Issues of Power Wireless Communication Network[J]. Electric Power Information & Communication Technology, 2014.
- [4] Zhen-Chang Z, Yi D, Jun-Yu L. On the Construction of Electric Power Wireless Communication Network Integrated Network Management System[J]. Technological Development of Enterprise, 2016.
- [5] 高勇. 电力通信网可靠性评估指标体系的设计与优化[D]. 华北电力大学(保定), 2011.
- [6] 浦同争, 宗容, 施继红, 等. 基于 ANFIS 的电力通信网的可靠性评估[J]. 陕西科技大学学报:自然科学版, 2013, 31(4):118-118.
- [7] Bo L, Min C, Wanceng H, et al. Research for Micro-power Wireless Communication Performance Testing Technology and System of AMI Communication Network[J]. Computer Measurement & Control, 2015.
- [8] 浦同争, 宗容, 胡劲松, 等. 基于隶属云的电力通信网可靠性评估[C]// 中国通信学会学术年会. 2009.
- [9] 不公告发明人. 一种用于电力通讯系统的可靠性评估方法:, 2020.
- [10] 张睿纳, 周静, 陈希. 一种基于扩展 RBD 模型的电力通信网可靠性评估算法研究[C]// 2011 电力通信管理暨智能电网通信技术论坛. 0.
- [11] Song Z, Yi-Fei L I. Brief Discussion on Low Power Wireless Communication Network Operation and Management[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010.
- [12] 王伟. 一种电力通信光缆的可靠性评估方法:, 2016.
- [13] 吴顺安. 秦皇岛电力通信网可靠性评估系统[D]. 2013.
- [14] 周立龙. 广域保护通信系统可靠性研究[D]. 2010.
- [15] Silva A A P D, Martins M M, Bruno P S R B, et al. Decentralized intrusion detection in wireless sensor networks[C]// Q2swinet05- First Acm Workshop on Q2s & Security for Wireless & Mobile Networks. DBLP, 2005.
- [16] Axelsson S. The base-rate fallacy and the difficulty of intrusion detection[J]. Acm Transactions on Information & System Security, 2000, 3(3):186-205.

[17] Hoque M S , Mukit M A , Bikas M A N . An Implementation of Intrusion 32
Detection System Using Genetic Algorithm[J]. International Journal of Network
Security & Its Applications, 2012, 4(2):109-120.

[18] Nadeem A , Howarth M . A Survey of MANET Intrusion Detection and
Prevention Approaches for Network Layer Attacks[J]. IEEE Communications
Surveys & Tutorials, 2013, 15(4):2027-2045.

[19] 余江. 智能电网通信技术分析与应用[M]. 科学出版社, 2015.

[20] 李琪, 元峰. 电力通信网风险评估算法[J]. 2014.

[21] Jou Y F , Gong F , Sargor J G , et al. Design and Implementation of a Scalable
Intrusion Detection System for the Protection of Network Infrastructure[C]// Darpa
Information Survivability Conference & Exposition. IEEE, 2000.

[22] 章昱, 李腊元. 网络入侵检测系统的设计与实现[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2004, 28(5):657-
660.

[23] Doumit S S , Agrawal D P . Self-organized criticality and stochastic learning based
intrusion detection system for wireless sensor networks[C]// Military
Communications Conference. IEEE, 2003.

[24] 吴顺安, 赵振东. 电力通信网可靠性评估指标体系的设计[J]. 中国科技信息, 2012(12):141-142.

[25] 李东昆, 李亨, 刘俊, 等. 大规模复杂网络的电力通信可靠性评估算法研究[J].
陕西电力, 2014, 42(7):14-17.

[26] 高锦荣. 安全可靠性评估及其在电力光纤通信网的应用[J]. 中国市场, 2016(19
期):62-62.

[27] Hervé Debar, Andreas Wespi. Aggregation and Correlation of Intrusion-Detection
Alerts[C]// International Symposium on Recent Advances in Intrusion Detection.
Springer-Verlag, 2001.

[28] Kumar S , Spafford E H . A Software Architecture to support Misuse Intrusion
Detection. [J]. Computers & Security, 1995, 14(7):607.

[29] Snapp S R , Brentano J , Dias G V , et al. A system for distributed intrusion
detection[C]// Compcon Spring 91 Digest of Papers. IEEE, 1991.

[30] Bao F , Chen I R , Chang M J , et al. Trust-Based Intrusion Detection in Wireless
Sensor Networks[C]// IEEE International Conference on Communications. IEEE, 2011.

[31] 辛阳, 魏景芝, 钮心忻, et al. 用于入侵检测的快速多模式匹配算法[J]. 北京邮电大学学报, 2008, 31(3):19-23.

[32] 雷煜卿, 李建岐, 侯宝素. 面向智能电网的配用电通信网络研究[J]. 电网技术, 2011, 35(12):14-19.

[33] Telecommun A . A revised taxonomy for intrusion-detection systems[J]. Annals of
Telecommunications-Annales Des Telecommunications, 2000. 33

[34] Cn Z Z Z C . 一种基于业务断面的智能配用电通信网业务流量计算方法[J]. 电网技术, 2011, 35(11):12-17.

[35] 熊艺文 . 面向智能电网的配用电通信网络研究 [J]. 自然科学 : 文摘版:00044-00044.

[36] Koziol J . Intrusion Detection With Snort[J]. Advanced Ids Techniques Using Snort
Apache Mysql Php & Acid, 2003, 30(10):369-373.

[37] 陈运生, 付瞰. 无线宽带接入技术在配用电通信网中的应用[J]. 电力系统通信, 2010, 31(6):13-17.

[38] 马良仁. 构建新一代智能配用电通信网建议[J]. 科学技术创新, 2013(28):73-73.

[39] Hervé Debar, Dacier M , Wespi A . Revised taxonomy for intrusion-detection
systems[J]. Annales Des Télécommunications, 2000, 55(7-8):361-378.

[40] 雷煜卿, 李建岐, 侯宝素. 智能配用电通信网网架结构[J]. 电力系统通信, 2011, 32(6):73-78.

[41] Mitchell R , Chen I R . A Survey of Intrusion Detection Techniques for
Cyber-Physical Systems[J]. Computers & Security, 2014, 12(4):405-418.

[42] 周景冉, 苏卫东, 王涛. 面向智能电网的配用电通信网络研究[J]. 数字通信世界, 2016(3).

[43] 王丽梅 . 面向智能电网的配用电通信网络研究 [J]. 中国新通信 , 2016, 18(18):34-34.

[44] Vigna G , Kemmerer R A . NetSTAT: a network-based intrusion detection
approach[C]// Computer Security Applications Conference. IEEE, 1999.

[45] 邹江平, 张彼德, 凌骁洲, 等. 基于云模型及可达性分析的复杂配电网可靠性评估[J]. 西华大学学报(自然科学版),
2015, 34(002):86-90. 34

攻读硕士学位期间发表的论文及其它成果

指 标
疑似剽窃文字表述
1. end while
4.2.3 备份路由选择算法在电力通信网中, 不同的备份路由的

说明: 1. 总文字复制比: 被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比：去除系统识别为引用的文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例
3. 去除本人文献复制比：去除作者本人文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例
4. 单篇最大文字复制比：被检测文献与所有相似文献比对后，重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比
5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的
6. 红色文字表示文字复制部分；绿色文字表示引用部分；棕灰色文字表示作者本人文献部分
7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



✉ amlc@cnki.net

🌐 <http://check.cnki.net/>

👤 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>

研究生学位论文 (TMLC)