

The Risk Early-Warning Mechanism in Maintenance Mode of the Power Telecommunication Network

Hanhua Huang¹, Ye Jiang¹, Bingwei Chen²

¹Guangxi Power Grid Co., Ltd., Electric Power Dispatch & Control Center, Nanning Guangxi

²Beijing University of Posts and Telecommunications, State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing

Email: huang_hh.dd@gx.csg.cn, 584490885@qq.com

Received: Mar. 12th, 2017; accepted: Mar. 27th, 2017; published: Mar. 30th, 2017

Abstract

Power telecommunication network is not only a communication network ensuring the safe and stable operation of power system, but also the basis of the power grid management, dispatching automation and management modernization. Currently the risk management, risk early-warning and risk assessment of power telecommunication network in normal operation mode have been gradually perfected and widely used. But risk early-warning in N – X maintenance mode hasn't got the researchers' concern. Therefore, the paper does some work in this aspect, mainly including: briefly introducing the research status, putting forward the application requirements and the application scenarios, detailing a risk prevention warning algorithm in N – X maintenance mode, analyzing the hybrid simulation of power grid and telecommunication network and their mutual impact and risk, and in the end, prospecting for future development. The algorithm contains two modules: maintenance and recovery. Firstly we get the node devices and links which can't be maintained any more by calculation, and then if the user has demand for repairing risk node devices or links, system will raise service interruption alarm.

Keywords

Power Telecommunication Network, Maintenance Mode, N – X, Risk Early-Warning

电力通信网检修模式下的风险预警机制

黄汉华¹, 蒋 焯¹, 陈炳伟²

¹广西电网公司电力调度控制中心, 广西 南宁

²北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室, 北京
Email: huang_hh.dd@gx.csg.cn, 584490885@qq.com

收稿日期：2017年3月12日；录用日期：2017年3月27日；发布日期：2017年3月30日

摘要

电力通信网是保证电力系统安全稳定运行的通讯网络，是电网管理、调度自动化和管理现代化的基础。目前电力通信网正常运行模式下的风险管理、预警和评估已经逐步完善并广泛应用，但是针对N-X检修模式下的风险预警并未加以考虑。因此，本文首先简述了研究现状，接着提出应用需求与应用场景，然后详细描述了关于电力通信网N-X检修模式下的风险防范预警算法，包含检修处理、恢复两大模块，计算得到不可再检修的节点设备和链路。如果用户对风险节点设备或链路提出检修需求，即提示业务中断。最后在文末阐述了对未来的展望，分析了电力网和通信网的混合综合仿真及其相互的影响与风险。

关键词

电力通信网，检修模式，N-X，风险预警

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力通信网是承载智能电网信息交互业务的通信专网，是支撑智能电网生产管理的信息平台，是智能电网发展的重要基础设施[1]。电力通信网更是保证电力系统安全稳定运行的通讯网络，是电网管理、调度自动化和管理现代化的基础。为充分发挥电力系统专用通信网的作用，更好地为电力生产服务，就必须确保电力通信网的安全正常稳定运行。为了达到上述目标，科学的管理和高水平的检修工作就成了保证各设备可靠运行的根本保障[2]。

已有的研究工作大多应用于电力通信网静态、正常运行方式下的风险分析和计算，得出网络健康度和脆弱性等参数，而并没有针对动态、基于检修模式下的通信网运行方式、运行风险进行评估，给出预警。

然而，电力通信网的检修是日常运维中的例行工作，运维人员在发现故障后或根据例行检修任务进行检修，使业务运行在备用路由上；或者在修复已有的故障后恢复业务正常使用。在大多数情况下，电力通信网皆处于N-X的检修状态。目前，电力通信网风险管理主要采用自愈环保护、独立双通道保护等技术实现风险控制[2]。然而，这些已有的风险控制技术主要面向的是故障发生后网络层面的优化，缺少结合N-X检修模式下的电力通信网运维需求，对检修任务本身的风险进行分析，并结合检修情况给出合理的受影响业务调度方法。为了解决N-X检修模式下的低风险问题，急需研究一种N-X检修模式下的电力通信网业务路由的风险防范预警，帮助运维人员规避N-X产生的风险，安全、高效、有条不紊地去安排检修计划。

本文所做的工作主要目的是设计一种电力通信网N-X检修模式下的风险预警机制。首先简述了电力通信网风险预估的研究现状，接着描述了应用需求与应用场景，然后详细阐释了关于电力通信网N-X检修模式下的风险预警算法，最后在文末表达了有关电力通信网未来发展方向的期望。

2. 电力通信网风险预估研究现状

目前, 电力通信学术界和部分电网企业在电网风险评估的基础上, 开展了通信网风险定性分析和定量评估的研究[3]。文献[4]着重于提供一种电力通信业务风险分析系统及评估方法, 对不同的电网管理业务的类型, 根据其业务重要程度以及对社会的影响效果进行数值的量化赋值, 综合考虑了多种影响电力通信业务风险分析的因素, 以达到对电力通信网有效地预警的效果。但是, 这只是分析了电力通信网整体的全局的静态业务风险分析, 并没有考虑到电力通信网局部检修时的业务风险, 和 $N - X$ 检修模式时的风险路由预警。文献[5]是一个电网运行风险智能分析管理系统, 有在线 $N - 1(X)$ 安全预警和离线 $N - 1(X)$ 风险分析, 可惜并未涉及到电力通信网的 $N - 1(X)$ 风险预警和风险分析。文献[6]是一种基于 $N - 1$ 原则的电力通信网业务影响分析方法, 是偏重于分析 $N - 1$ 方式下对业务的影响的, 并未分析 $N - 1(X)$ 模式下的风险业务路由。

综上所述, 已有的研究工作大多应用于电力通信网静态、正常运行方式下的风险分析和风险评估, 得出风险值, 而未针对动态、基于 $N - X$ 检修模式下的通信网运行方式、业务路由风险进行分析, 给出防范预警。

电力通信网主要由光缆网、SDH 传输网、业务网和支撑网等构成, 其中光缆网和 SDH 传输网是风险的主要承受对象[3], 检修方式下的风险往往比正常运行方式下的风险来得严重, 因此为了解决这个问题, 本文将阐述一种关于电力通信网在检修模式下的风险预警算法, 针对电力通信网在 $N - X$ 检修模式下的所有业务路由, 给出设备和链路的风险防范预警, 该研究具有重要的现实意义。

3. $N - X$ 检修模式下的风险预警

3.1. 应用需求与应用场景分析

在检修条件下, 可通过检修确定链路或节点设备 A 处在检修状态, 业务路由发生变化, 给出所有不能再检修的链路和节点设备, 如 $N - 1$ 业务的备用路由涉及的节点设备和链路就不能再检修。对于承载业务重要程度较高、承载业务较重的光缆和通信设备的检修工作, 应满足 $N - 2$ 条件后方可实施检修。同时, 也可以在检修时, 给出受影响的业务的备用路由建议, 即在备用路由中给出建议。

目前, 在大部分电力公司运维范围内的 220 kV 及以上光缆和光传输系统都具备上述要求, 满足 $N - 1$ 。随着光缆网络的逐年完善, 网架结构不断坚强, 大部分光缆区段满足 $N - 2$ 。以下是 $N - 1$ 和 $N - 2$ 业务路由简易图, 如图 1 和图 2。

假设应用场景是运维检修人员在实际检修前, 先在系统中模拟进行 $N - X$ 检修, 系统可给出不可再检修的设备和链路的风险防范预警, 在风险预警的指导下, 检修人员便可事先做好防范措施, 规避风险, 并且可以安排好设备或链路的检修顺序, 有效地降低检修作业对电力通信网产生的风险。

3.2. 具体算法实现

分析处理的对象, 或者说输入的数据是电力通信网业务路由分布的网络拓扑图, 可以简化为无向图, 有点 V 和边 E 构成, 代表具体的设备和链路。每一个业务的每条路由都是由点 V 集合和边 E 集合组成。

针对 $N - X$ 检修模式下的可恢复的设备和链路的风险防范预警, 这里需要处理 2 类有风险的业务路由:

定义 1: 0 备用路由: 业务只有一条正在承载运行业务的主路由, 没有备用路由, 则主路由一旦某处检修, 业务必然中断。

定义 2: $n + 1$ 重合路由: 业务有一条主路由和若干条备用路由, 但是主路由和所有的备用路由都经过了同一处点 V 或边 E , 则重合处一旦检修, 业务必然中断。

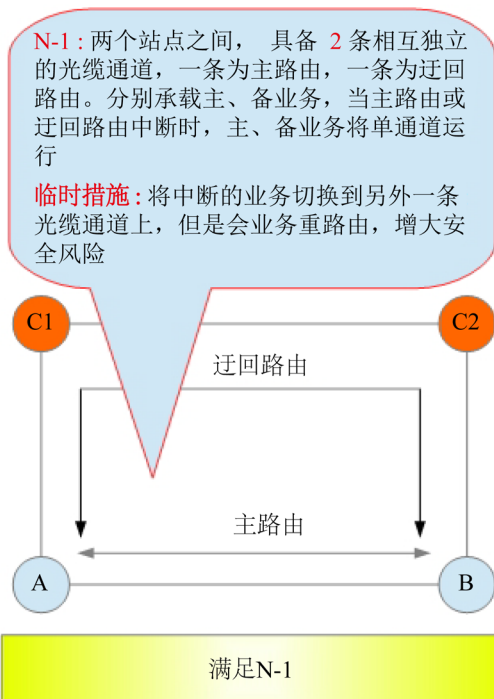


Figure 1. Curve: N - 1 service simple routing graph
图 1. N - 1 业务简易路由图

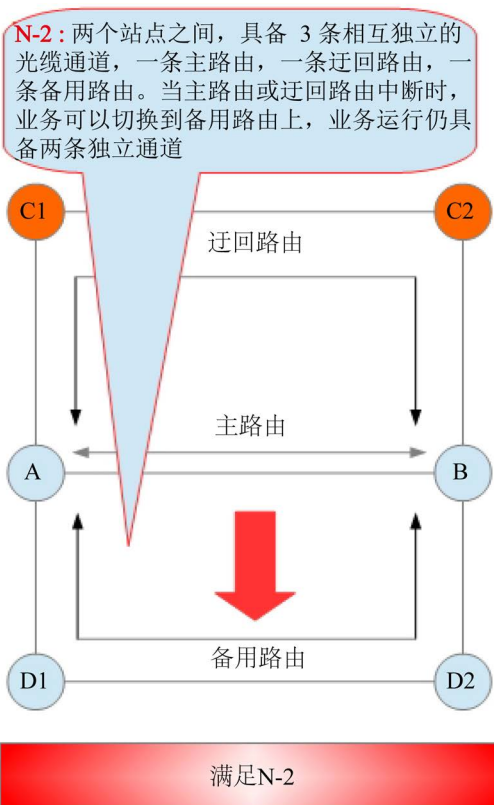


Figure 2. Curve: N - 2 service simple routing graph
图 2. N - 2 业务简易路由图

针对第一类情况，直接给出 0 备用路由业务列表及对应主路由，如果用户提出检修需求，即提示业务中断。

针对第二类情况，给出 $n + 1$ 重合路由业务列表及重合处。如果用户提出重合处检修需求，即提示业务中断。

• 数据结构设计

现规定：主路由：正在承载业务 i 的路由，有且只有一条。

备用路由：业务 i 的备用路由，可以成为主路由，路由条数 $0 \sim n$ 。

检修路由：被检修人员选中了点或边后，业务 i 无法使用的路由，路由条数 $0 \sim n$ ，检修完毕(可恢复)后成为备用路由。

数据库中根据数据结构设计的存储信息的表格见表 1。

主路由类：主路由的边和点的集合， $\{V_i\}$ 、 $\{E_j\}$

备用路由类：备用路由的边和点的集合， $\{V_i\}$ 、 $\{E_j\}$

检修路由类：检修路由的边和点的集合， $\{V_i\}$ 、 $\{E_j\}$

每条检修路由有一个检修处的数量统计 $bad_num(\geq 1)$

业务类：service_num 总的业务数量

Number 业务编号

main_route 主路由

flag 标志具体一条业务的主路由的有无，1 为有，0 为无

意义在于当检修任务涉及到业务的主路由时，算法可以立即判断并给出反应。

backup_route 备用路由

backup_num 具体一条业务的备用路由数($0 \sim n$)

repair_route 检修路由

repair_num 检修路由数($0 \sim n$)

路由类：vertex[]点

edge[]边

• 算法流程

1) 导入业务路由表信息，存入设计的数据结构中；

Table 1. Table for storing information in a database

表 1. 数据库中存储信息的表

	主路由	备用路由	检修路由
业务 1	$\{V_i\}, \{E_j\}$	无	$\{V_i\}, \{E_j\}$ $\{V_i\}, \{E_j\}$
业务 2	$\{V_i\}, \{E_j\}$	$\{V_i\}, \{E_j\}$	无
业务 3	$\{V_i\}, \{E_j\}$	$\{V_i\}, \{E_j\}$ $\{V_i\}, \{E_j\}$	$\{V_i\}, \{E_j\}$ $\{V_i\}, \{E_j\}$
业务 4	$\{V_i\}, \{E_j\}$	$\{V_i\}, \{E_j\}$ $\{V_i\}, \{E_j\}$	$\{V_i\}, \{E_j\}$
.....			
.....			

2) 遍历所有业务, 检索出第一类 0 备用路由, 即 $\text{backup_num} = 0$ 的业务, 打印标红其主路由; 检索出第二类 $n + 1$ 重合路由的业务的重合处 V 或 E, 并打印标红;

3) 等待检修人员选择一处 V 或 E 检修或恢复, 判断选择可检修处检修, 还是选择检修处恢复, 即检修完毕, 并将选择的 V 或 E 赋值给 X。如果是检修, 转 4); 如果是检修完毕, 转 5);

4) 检修处理模块, 处理完毕后转至 2);

5) 检修完毕, 恢复模块, 处理完毕后转至 2)。

- 主流程图

算法主流程图如图 3。

- 检修处理模块

该模块处理选择检修后产生的相应主路由、备用路由、检修路由的变化。为分析 N - X 风险预警做准备。

用 X 匹配业务路由表, 按业务编号的顺序依次检索。如果是业务 i 主路由中有, 则将主路由移入检修路由, 并且其 $\text{bad_num} = 0$, $\text{flag} = 0$ 表示业务 i 缺少主路由; 如果是业务 i 备用路由中有, 则将备用路由移入检修路由, 并且其 $\text{bad_num} = 0$; 如果是业务 i 检修路由中有, 则其 $\text{bad_num} + 1$ 。移动完路由后, 如果业务 i 的 $\text{flag} = 0$, 缺少主路由, 则让检修人员在业务 i 的备用路由中选择一条移入主路由(这里, 可以结合风险评估模块给备用路由计算风险值, 按风险值从小到大的顺序给出)。在移动路由的同时, 要更新相应的数据, 如 backup_num , repair_num , bad_num 。处理完毕后转至 2)。

算法检修处理模块流程图如图 4。

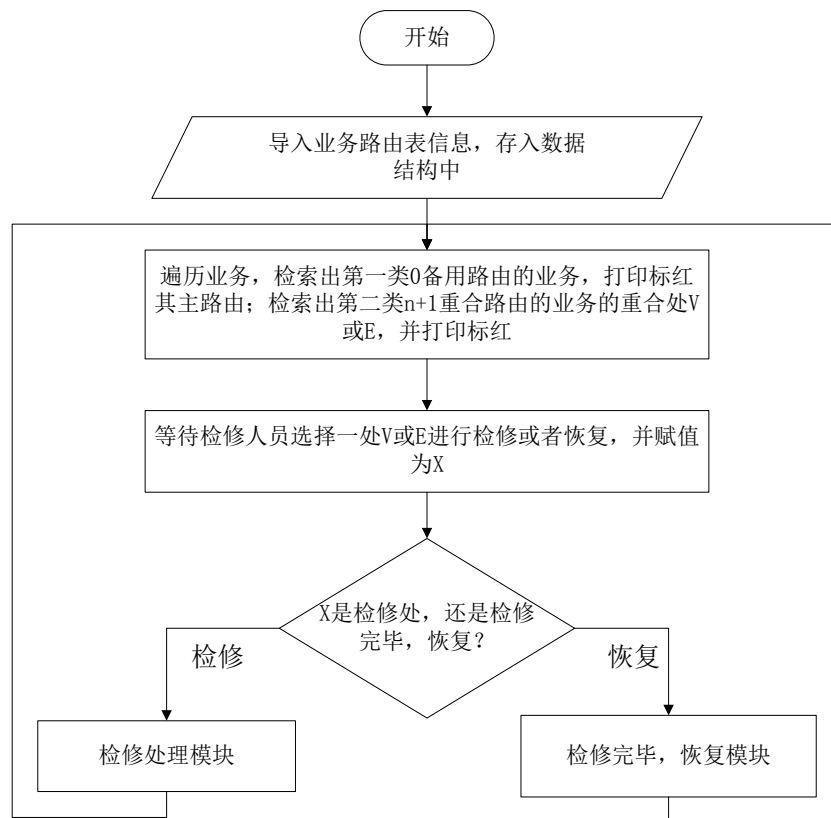


Figure 3. Curve: main flow chart of N - X algorithm

图 3. N - X 算法主流程图

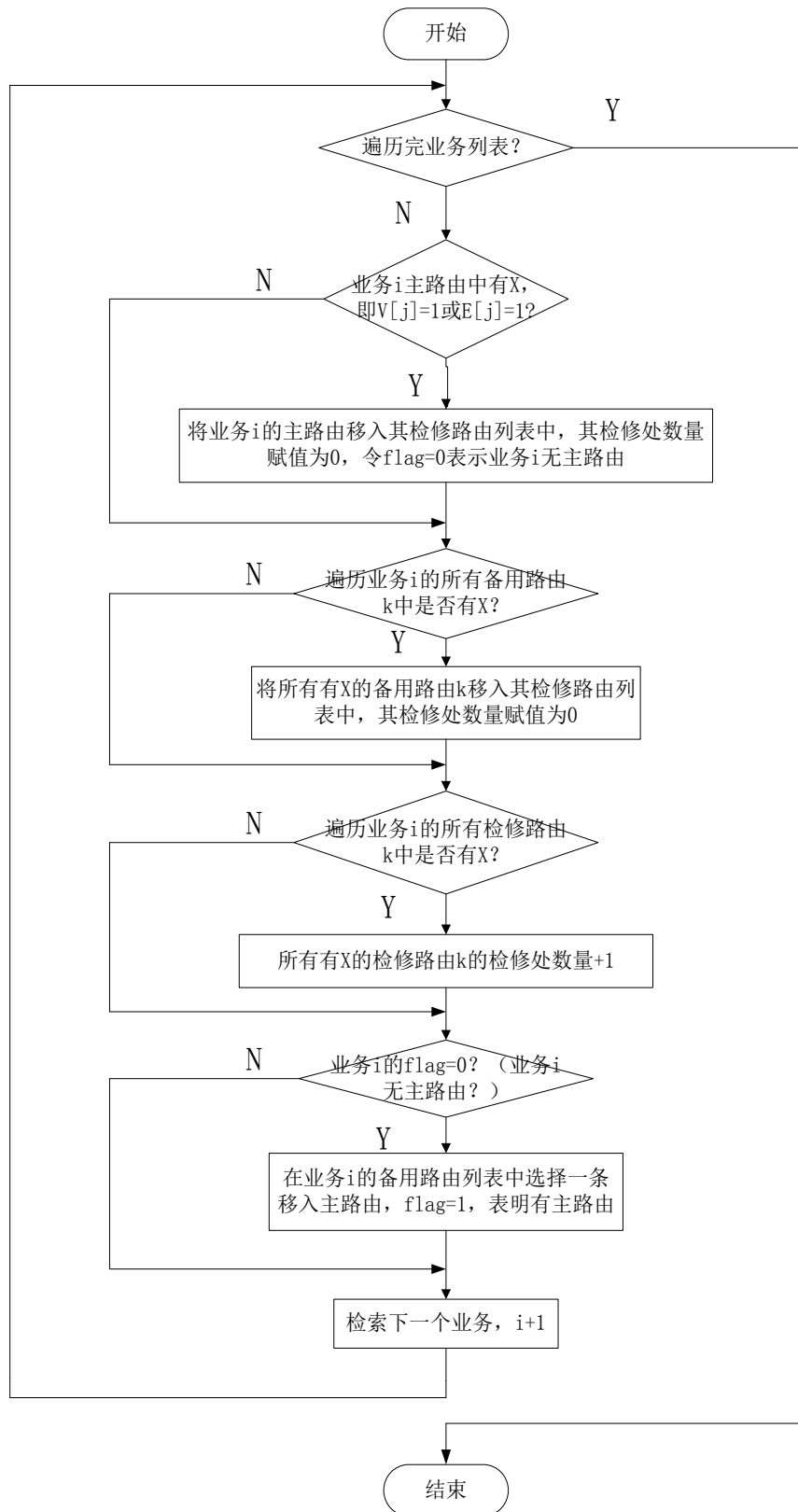


Figure 4. Curve: flow chart of N - X algorithm maintenance and repair module
图 4. N - X 算法检修处理模块流程图

- 检修恢复模块

该模块处理选择恢复后产生的相应主路由、备用路由、检修路由的变化。为分析 N - X 风险预警做准备。

用 X 匹配路由表的检修路由，按业务编号的顺序依次检索。检修路由：(bad_num \geq 1) 第一种情况 bad_num = 1: 则路由恢复正常，移回备用路由，bad_num = 0; 第二种情况 bad_num > 1: 则路由依然无法使用，bad_num - 1。在移动路由的同时，要更新相应的数据，如 backup_num, repair_num, bad_num。处理完毕后转至 2)。

算法检修恢复模块流程图如图 5。

4. 实例

由电力通信网实际的业务分布图简化出的网络拓扑图，总共有 12 个点，即 12 个设备，14 条边，即 14 处链路。如图 6。

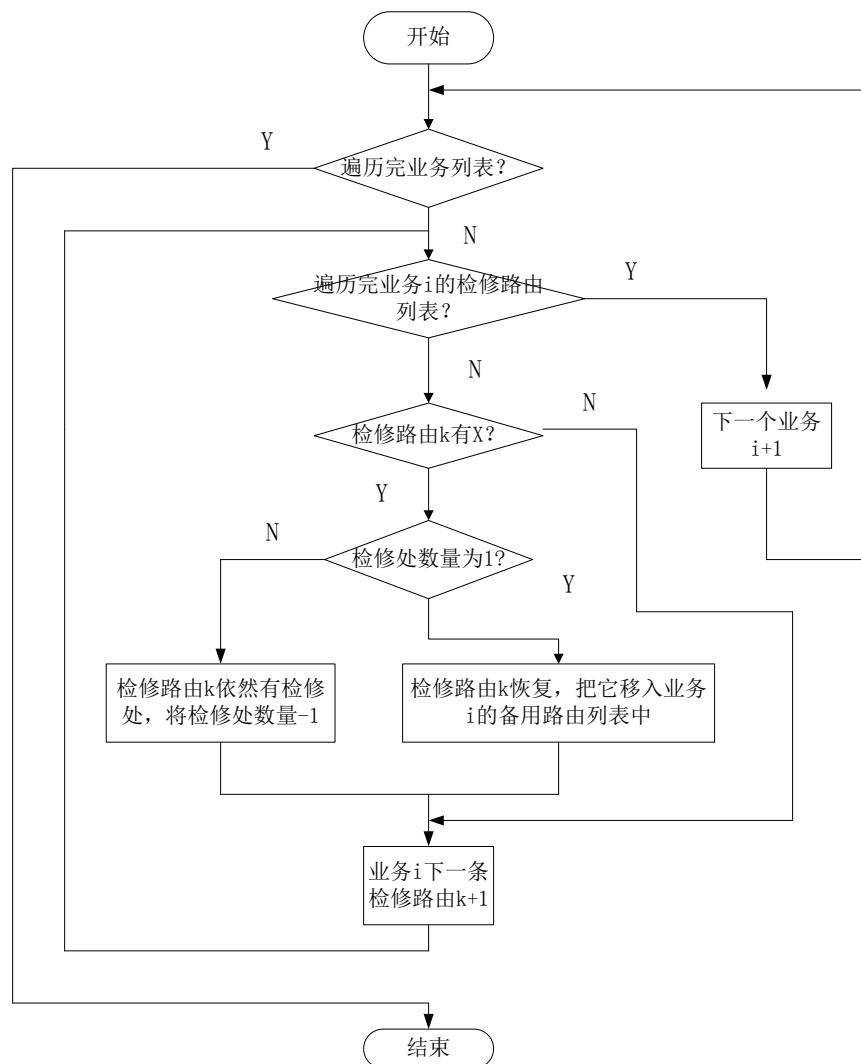


Figure 5. Curve: flow chart of N - X algorithm repair and recovery module
图 5. N - X 算法检修恢复模块流程图

分布在图 6 所示的网络拓扑图上的 3 条业务，具体的主路由、备用路由、检修路由信息见表 2。

首先分析得出的是不可以检修的点和边，其次用户输入检修处，最后给出检修处导致的不可再检修的点和边。程序运行后的效果展示图如图 7。

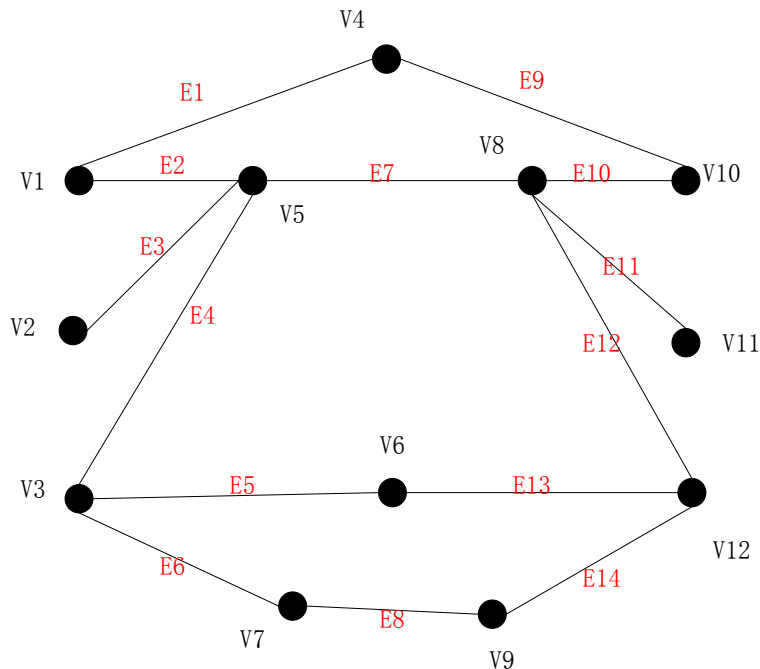


Figure 6. Curve: service distribution topology
图 6. 业务分布拓扑图

业务1主备用路由重合处，不能检修：
v1, v10,
业务2无备用路由，主路由不能检修：
e3, e7, e11, v2, v8, v11,
业务3主备用路由重合处，不能检修：
v3, v12
请输入你要选择检修的点(vi)或边(ej)，上述不可检修的不能选择：
v4
业务1备用路由全部进入检修，主路由不能检修：
e2, e7, e10, v1, v5, v8, v10,

Figure 7. Curve: program run effect diagram
图 7. 程序运行效果图

Table 2. Service distribution routing table
表 2. 业务分布路由表

	主路由	备用路由	检修路由
业务 1	V1, E2, V5, E7, V8, E10, V10	(1) V1, E1, V4, E9, V10	无
业务 2	V2, E3, V5, E7, V8, E11, V11	无	无
业务 3	V3, E6, V7, E8, V9, E14, V12	(1) V3, E5, V6, E13, V12 (2) V3, E4, V5, E7, V8, E12, V12	无

5. 未来展望

本文完成的是电力通信网在 N - X 检修模式下的风险防范预警，而电力通信网与电网之间的关系是密不可分的，电力通信网是实现智能电网的重要基础设施。随着电网系统的不断发展，充分的考虑通信技术在电网系统当中的重要作用，规划功能比较齐全的、体系比较完整的电力通信网络是十分有必要的 [7]。现代电力系统已经发展为由物理电力系统和通信信息系统构成的复杂耦合网络系统，由此未来的发展趋势必然是创造出电力通信网和电力网两者相结合的仿真系统 [8]，并实现两者在时间上的同步运行。因此，未来的展望是可以将此功能点扩展到通信系统和电力系统相结合的仿真系统中。一个电网和通信网的双结合系统仿真平台如图 8。

已有的研究表明，无论是电力系统本身，还是通信系统中的部件发生故障或是被攻击，都可能导致整个耦合网络的连锁故障 [9]。由于两个系统的耦合，在此可以从 4 个角度分析检修风险：

- a) 电力系统本身的检修风险
- b) 电力系统的检修引起的通信系统的风险
- c) 通信系统本身的检修风险
- d) 通信系统的检修引起的电力系统的风险

针对 a) 和 c) 已有了大量的研究，在此不再讨论，主要考虑 b) 和 d) 在未来双结合仿真平台中的展望。基于未来电网和通信网的综合仿真，可以刻画和分析电力和通信混合系统中连锁故障的发生过程，我们可以先考虑风险故障的关联。

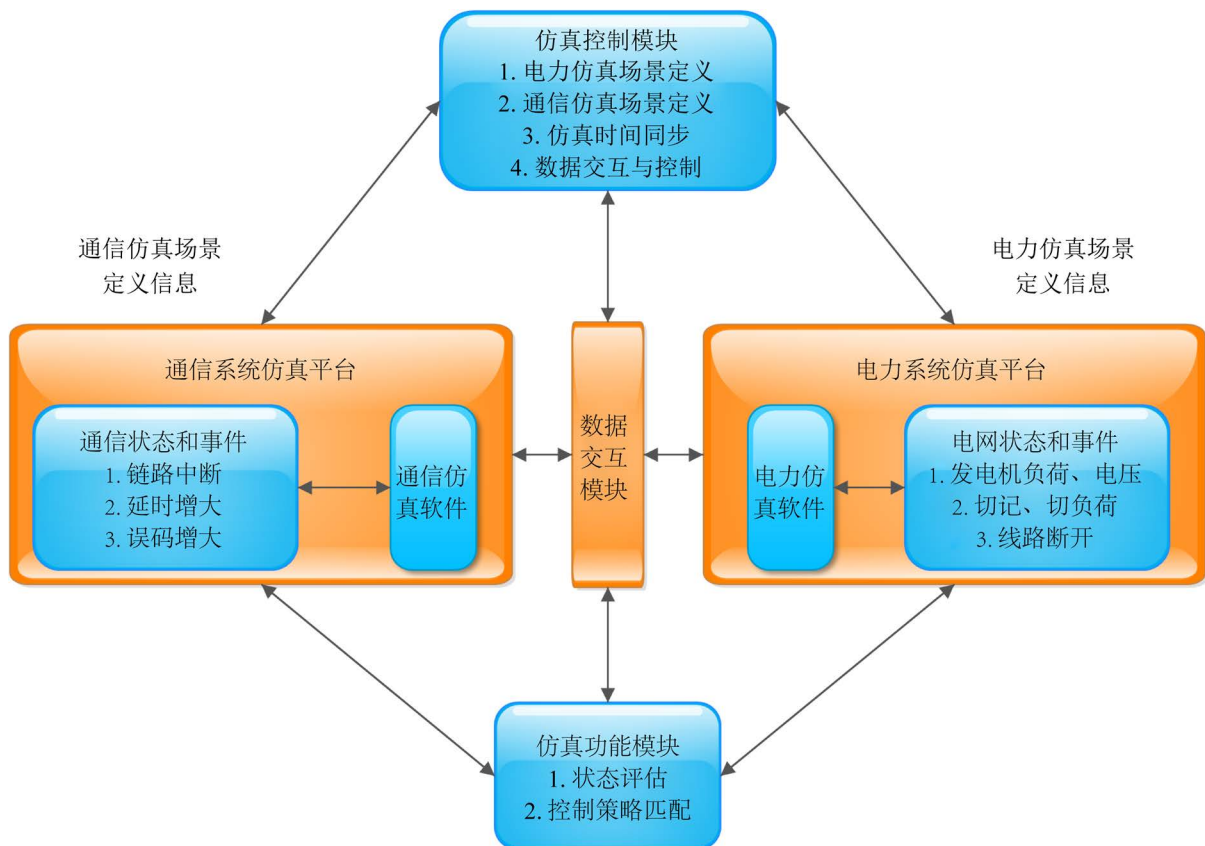


Figure 8. Curve: simulation platform of double binding system

图 8. 双结合系统仿真平台图

首先是 b) 电力系统的检修引起的通信系统的风险:

基于未来双结合系统的实现, 可以将类似 OPGW(Optical Fiber Composite Overhead Ground Wire) 光缆, 兼具地线与通信双重功能, 即兼具电力网与通信网功能的设备检修工作, 使用系统来完成。可以更好地模拟电力一次线路特色检修时, 通信网络侧需要完成的工作流程和电力侧需要配合的事宜。当 OPGW 复合光缆电力侧即地线需要检修时, 势必会影响到通信侧的信号传输, 这时候就需要考虑好业务路由调整、恢复过程等问题, 找出电力系统检修时, 通信系统所需要承担的风险, 提前做好风险防范预警工作, 可以保障整个耦合网络的安全稳定运行。

其次是 d) 通信系统的检修引起的电力系统的风险:

通信系统检修会对电力系统产生影响, 比如电网调度和稳定运行控制等方面。具体通信网设备检修与电网事故之间的业务关联性如图 9。

通信光缆故障或者信息网络故障所导致的设备故障, 业务不可用等, 进一步可能会影响到电网的正常运行, 进而导致电网事故事件的发生。具体的与通信网安全事件相关的电网事件包括保护通道中断, 安稳, 继电保护等关键业务通道中断, 时间不同步, 导致输电系统双极闭锁, 安稳系统失灵等。

有了针对电力通信网业务路由 N - X 检修模式下的风险防范预警, 我们在未来的双结合系统中就可以考虑具体到一个风险业务对应的电力网风险事件, 这样可以做好电力通信网和电力网的双重风险预警。基于电力通信网 N - X 检修模式下得到的风险路由业务, 得出电力网风险事故事件, 做好风险防范准备。

6. 结束语

本文提出了电力通信网 N - X 检修模式下可恢复的风险防范预警算法, 可以处理任何的电力通信网业务路由分布拓扑图, 分析并呈现对全网设备或光缆执行检修操作后不能再检修的光缆和设备, 呈现风险预警详细信息, 分析业务检修前后的路由变化情况和风险值的变化情况, 呈现风险评估详细信息。可以方便检修人员在模拟平台上模拟 N - X 检修的时候, 给出所有业务潜在的路由风险, 并告知检修人员做好风险防范, 这具有重大的实际意义。

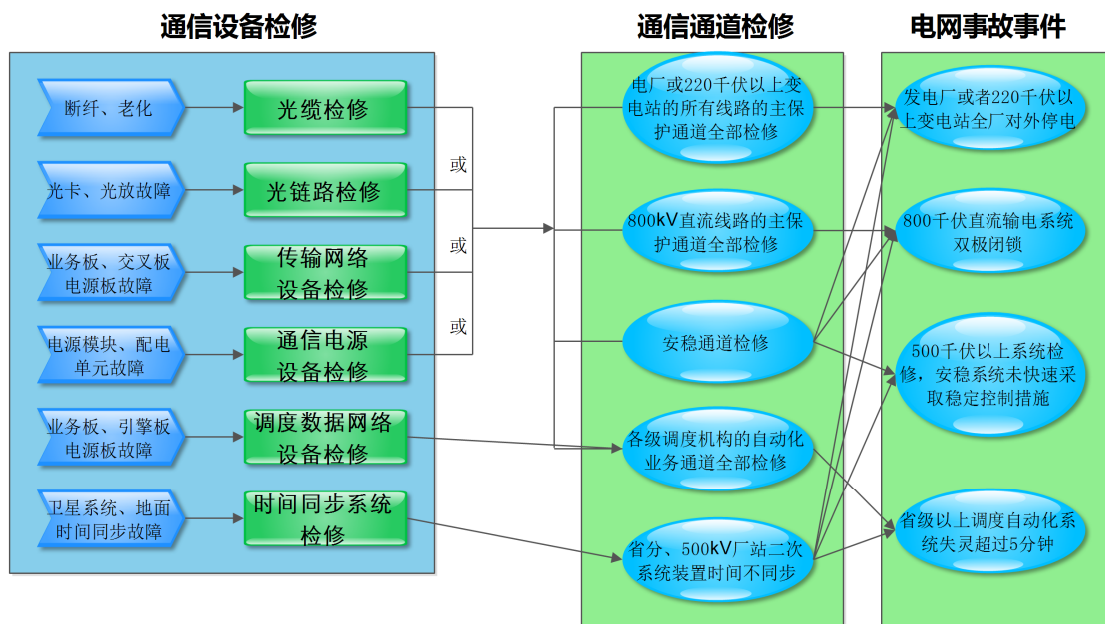


Figure 9. Curve: service relationship analysis flow chart
图 9. 业务关联性分析流程图

未来的研究工作包括数据结构、算法时间复杂度等性能层面的优化和细化。电力通信网有许多的网络，除了业务路由风险之外，我们仍然有许多的风险情况需要考虑。另外，对于不能检修的业务路由未来可以考虑加入路由规划算法，当场配置一条备用路由，接下来业务路由便可以正常检修。

致 谢

在论文完稿之际，谨对在本文的撰写过程中，给予过帮助的好人们，表示深深的感谢！
最后衷心感谢在百忙之中评审论文的各位！

参考文献 (References)

- [1] 曾庆涛. 电力通信网风险管理关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [2] 蒋焯. 基于 RFID 技术的电力通信检修系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [3] 张磊, 丁伟强. 通信网检修方式风险量化评估的研究与应用[J]. 电力系统通信, 2011, 32(11): 65-69.
- [4] 靳洋, 曾瑛, 蒋康明, 丁慧霞, 林斌, 张庚, 王瑶, 滕玲, 李伟坚. 电力通信业务风险分析系统及评估方法[P]. 广东: CN102663240A, 2012-09-12.
- [5] 黄向前, 桂前进, 黄莉莉, 何怡燕. 电网运行风险智能分析管理系统[P]. 北京: CN104463467A, 2015-03-25.
- [6] 闫生超, 张春平, 唐云善, 巢玉坚, 吴德胜, 刘军, 焦群, 蒋元晨. 一种基于 N-1 原则的电力通信网业务影响分析方法[P]. 江苏: CN102437922A, 2012-05-02.
- [7] 王菊. 基于智能电网的电力通信网络发展现状探讨[J]. 大科技, 2014(35): 60-61.
- [8] 汤奕, 王琦, 倪明, 薛禹胜. 电力和信息通信系统混合仿真方法综述[J]. 电力系统自动化, 2015(23): 33-42.
- [9] 童和钦, 倪明, 李悦岑, 等. 电网和通信网综合仿真研究[J]. 南方电网技术, 2016, 10(5): 117-122.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org