**通信网实时仿真建模研究及仿真系统在电力通信网中的应用——仿真技术研究报告（关键实现技术）**

**2016年5月**

**目录**

[1 综述 1](#_Toc314219388)

[2 告警连锁机制分析 1](#_Toc314219389)

[2.1 分析处理对象 1](#_Toc314219390)

[2.2 分析处理流程 1](#_Toc314219391)

[2.3 参与分析处理流程的用户角色 2](#_Toc314219392)

[2.4 应用场景 2](#_Toc314219393)

[2.5 分析处理结果的呈现方式 2](#_Toc314219394)

[2.6 告警连锁规则 2](#_Toc314219395)

[2.6.1 告警传递规则 2](#_Toc314219396)

[2.6.2 告警关联规则 6](#_Toc314219397)

[3 网元间相互作用关系分析 7](#_Toc314219398)

[3.1 分析处理对象 7](#_Toc314219399)

[3.2 分析处理流程 7](#_Toc314219400)

[3.3 参与分析处理流程的用户角色 7](#_Toc314219401)

[3.4 应用场景 8](#_Toc314219402)

[3.5 分析处理结果的呈现方式 8](#_Toc314219403)

[3.6 网元间作用关系 8](#_Toc314219404)

[3.6.1 网络拓扑变化对网元间关系的影响 8](#_Toc314219405)

[3.6.2 网元间行为状态相互作用 8](#_Toc314219406)

[3.6.3 网元间管理状态相互作用 10](#_Toc314219407)

[4 N-X风险分析 11](#_Toc314219408)

[4.1 分析处理对象 11](#_Toc314219409)

[4.2 分析处理流程 11](#_Toc314219410)

[4.3 参与分析处理流程的用户角色 11](#_Toc314219411)

[4.4 应用场景 11](#_Toc314219412)

[4.5 分析处理结果的呈现方式 12](#_Toc314219413)

[4.6 N-X风险分析算法 12](#_Toc314219414)

[4.6.1 概念 12](#_Toc314219415)

[4.6.2 算法流程 12](#_Toc314219416)

[4.6.3 算法说明 12](#_Toc314219417)

[4.6.4 局限性 16](#_Toc314219418)

[5 网络健壮性分析 16](#_Toc314219419)

[5.1 分析处理对象 17](#_Toc314219420)

[5.2 分析处理流程 17](#_Toc314219421)

[5.3 参与分析处理流程的用户角色 17](#_Toc314219422)

[5.4 应用场景 17](#_Toc314219423)

[5.5 分析处理结果的呈现方式 17](#_Toc314219424)

[5.6 网络健壮性分析算法 18](#_Toc314219425)

[5.6.1 概念 18](#_Toc314219426)

[5.6.2 算法流程 18](#_Toc314219427)

[5.6.3 算法说明 18](#_Toc314219428)

[5.6.4 局限性 19](#_Toc314219429)

[6 故障根原因分析 19](#_Toc314219430)

[6.1 分析处理对象 20](#_Toc314219431)

[6.2 分析处理流程 20](#_Toc314219432)

[6.3 参与分析处理流程的用户角色 20](#_Toc314219433)

[6.4 应用场景 20](#_Toc314219434)

[6.5 分析处理结果的呈现方式 20](#_Toc314219435)

[6.6 故障根原因分析算法 21](#_Toc314219436)

[6.6.1 概念 21](#_Toc314219437)

[6.6.2 算法流程 21](#_Toc314219438)

[6.6.3 算法说明 22](#_Toc314219439)

[6.6.4 局限性 29](#_Toc314219440)

[7 故障影响分析 29](#_Toc314219441)

[7.1 分析处理对象 29](#_Toc314219442)

[7.2 分析处理流程 29](#_Toc314219443)

[7.3 参与分析处理流程的用户角色 29](#_Toc314219444)

[7.4 应用场景 29](#_Toc314219445)

[7.5 分析处理结果的呈现方式 30](#_Toc314219446)

[7.6 故障影响分析算法 30](#_Toc314219447)

[7.6.1 概念 30](#_Toc314219448)

[7.6.2 算法流程 30](#_Toc314219449)

[7.6.3 算法说明 30](#_Toc314219450)

[7.6.4 局限性 32](#_Toc314219451)

# 综述

随着电力通信的发展，光传输网络已成为电力通信的主要业务承载平台，省骨干光传输网络规模越来越大，网络结构复杂，承载业务信息越来越多，如何熟练驾驭该网络，确保通信网络安全稳定运行已成为日常运行管理的难题。通信运行指标的高标准也对网络事故的分析、判断及应对处理能力的要求越来越高，这需要运行维护人员熟悉系统和设备的各种告警、故障状态，熟练操作网管系统进行分析、处理事故，以及通过反复的通信事故演练提高处理事故的能力、检验反事故预案的有效性。

河北省电力公司在体系架构调整后，加速了信息和通信专业的融合，促使通信专业在保障通道安全稳定运行的同时，要进一步提升信息通信综合运维能力和故障判断及问题解决能力。从而为公司的生产运营提供可靠、高效的信息通信支撑。随着通信承载业务的增多，网络结构的日益复杂以及新老员工间频繁的交替，如何快速提升运维能力，增加故障场景培训，尽快恢复故障，亟需一套通信仿真平台的建设。

为了支撑对仿真网络的监视、分析和管控的仿真，为电力通信仿真系统的设计和实现提供技术基础，需要提出仿真系统实现时所需的网络分析、故障处理流程的算法。本文从告警连锁机制分析、网元间相互作用关系分析、N-X风险分析、网络健壮性分析、故障根原因分析、故障影响分析六个方面对通信仿真系统的关键实现技术进行了详细阐述。

# 告警连锁机制分析

告警连锁机制反映了SDH网络中告警事件之间存在的关联性和传递性，它是SDH网络故障仿真的难点。通过采用连锁机制实现对故障的模拟，仿真网络不仅能够呈现出相关的告警信息，而且能够体现告警出现的次序以及它们之间的关系。

## 分析处理对象

告警数据

## 分析处理流程

连锁机制是指一种因素的变化引起了一系列相关因素的连带反应，如因素A的变化引起了因素B的变化，而因素B的变化又引起了因素C的变化等。

通信网络的告警连锁机制是指故障引发一系列告警事件的连带反应，分为以下几种不同的情况：

（1）被管通信实体的单个故障会产生的连续告警序列，告警序列中包括了多个不同的告警。

（2）同一个故障可能会被几个不同的通信实体检测到，导致不同的通信实体产生多个告警来指示同一个故障。

（3）一个通信实体发生故障，可能会影响与其具有依赖关系的通信实体，导致其它通信实体失效并产生额外的告警。

## 参与分析处理流程的用户角色

运维人员，仿真系统内部。

## 应用场景

反事故演习：在反事故演习时，在总导演设置故障点之后，自动产生所有关联的告警信息，方便演习的进行。

运维管理培训：在培训教师设置故障之后，自动产生所有关联的告警信息，方便培训教师对学员授课和考核。

## 分析处理结果的呈现方式

当仿真系统中的某一资源对象发生故障时，运维人员可以通过仿真系统的告警监控界面看到上报的与该故障相关的所有告警信息。

## 告警连锁规则

告警的连锁机制与SDH自身标准有关，ITU-T规定了标准SDH设备产生的告警以及告警的含义，本文只讨论标准的告警信息仿真。在SDH传送网络中，与故障有关的主要告警包括：告警指示信号（AIS）、信号劣化（SD）、指针丢失（LOP）、OOF（帧失步）、帧丢失（LOF）、复帧失步（LOM）、信号丢失（LOS）、踪迹识别失配（TIM）、远端缺陷指示（RDI）以及信号未装载（UNEQ）等。由于告警之间存在关联性和传递性，告警连锁规则包括关联规则和传递规则。传递规则是指告警在复用段、高阶通道以及低阶通道等不同层次的功能模块间的传递关系。关联规则是指告警在网络中相同链路上的各资源对象间的关联关系。

### 告警传递规则

* OOF、LOF告警



OOF：接收线路侧帧失步

LOF：接收线路侧帧丢失

如图示，接收线路侧的帧失步会产生OOF告警，OOF告警持续超过3ms会导致帧丢失LOF告警。

* LOS/LOF 、MS\_AIS告警



LOS/LOF：接收线路侧信号丢失/帧丢失

MS\_AIS：复用段告警指示

如图示，接收线路侧信号丢失或帧失步会产生LOS/LOF告警，LOS/LOF告警会导致复用段告警MS\_AIS。

* MS\_AIS、MS\_RDI告警



MS\_AIS：复用段告警指示

MS\_RDI：复用段远端劣化指示

如图示，复用段告警MS\_AIS会回送复用段远端劣化指示告警MS\_RDI给远端。

* MS\_BIP Err 、MS\_REI告警



MS\_BIP Err：复用段BIP误码

MS\_REI：复用段远端误码指示

如图示，复用段BIP误码MS\_BIP Err告警会回送复用段远端误码指示告警MS\_REI给远端。

* MS\_AIS 、AU\_AIS告警



MS\_AIS：复用段告警指示

AU\_AIS：AU告警指示

如图示，复用段告警MS\_AIS会导致AU告警指示AU\_AIS。

* AU\_AIS、AU\_LOP、HP\_SLM、HP\_UNEQ、 HP\_TIM 、HP\_RDI告警



AU\_AIS：AU告警指示

AU\_LOP：AU指针丢失

HP\_SLM：高阶通道信号标记失配

HP\_UNEQ：高阶通道未装载错

HP\_TIM：高阶通道追踪识别符失配

HP\_RDI：高阶通道远端劣化指示

如图示， AU告警指示AU\_AIS、AU指针丢失告警AU\_LOP、高阶通道信号标记失配告警HP\_SLM、高阶通道未装载错告警HP\_UNEQ与高阶通道追踪识别符失配告警HP\_TIM均会回送高阶通道远端劣化指示告警HP\_RDI给远端。

* HP-BIP Err、HP-REI告警



HP-BIP Err：高阶通道BIP误码

HP-REI：高阶通道远端误码指示

如图示，高阶通道BIP误码HP-BIP Err告警会回送高阶通道远端误码指示告警HP-ERI给远端。

* AU\_AIS、AU\_LOP、HP\_SLM、HP\_UNEQ、 HP\_TIM 、TU\_AIS告警



AU\_AIS：AU告警指示

AU\_LOP：AU指针丢失

HP\_SLM：高阶通道信号标记失配

HP\_UNEQ：高阶通道未装载错

HP\_TIM：高阶通道追踪识别符失配

TU\_AIS：TU告警指示

如图示， AU告警指示AU\_AIS、AU指针丢失告警AU\_LOP、高阶通道信号标记失配告警HP\_SLM、高阶通道未装载错告警HP\_UNEQ与高阶通道追踪识别符失配告警HP\_TIM均会导致TU告警指示TU\_AIS。

* TU\_AIS、TU\_LOP、LP\_UNEQ、LP\_TIM、LP\_RDI告警



TU\_AIS：TU告警指示

TU\_LOP：TU指针丢失

LP\_UNEQ：低阶通道未装载错

LP\_TIM：低阶通道追踪识别符失配

LP\_RDI：低阶通道远端劣化指示

如图示，TU告警指示告警TU\_AIS、TU指针丢失告警TU\_LOP、低阶通道未装载错告警LP\_UNEQ、低阶通道追踪识别符失配告警LP\_TIM均会回送低阶通道远端劣化指示告警LP\_RDI给远端。

* LP-BIP Err、LP-ERI告警



LP-BIP Err：低阶通道BIP误码

LP-REI：低阶通道远端误码指示

如图示，低阶通道BIP误码LP-BIP Err告警会回送高阶通道远端误码指示告警LP-ERI给远端。

### 告警关联规则

RDI与REI告警是由本端回送至远端的告警，而AIS告警则会由本端继续沿着链路向下一个收端进行传递。以一种情况为例来说明告警的关联规则，如下一条由A端至Z端途径A’与Z’的链路：



若A’检测到LOS/LOF告警，则告警在链路上的关联关系为：

1. A’本端在检测到LOS/LOF告警后会依次产生MS\_AIS、AU\_AIS、TU\_AIS告警，且回送RDI告警至A端。
2. 因此A端会产生MS\_RDI、HP\_RDI、LP\_RDI告警。
3. AIS告警会沿通信链路向下传递，因此，Z’与Z均会产生MS\_AIS、AU\_AIS、TU\_AIS告警，同样Z’与Z也会回送RDI告警。
4. 因此，A’与Z’会产生MS\_RDI、HP\_RDI、LP\_RDI告警。

*注：此例假设整条通信链路没有故障，否则，回送的RDI告警或者向下传递的AIS告警将不能被检测到。*

告警关联规则可以辅助进行故障的诊断，例如：

1. 对于相邻两个网元，在网管上都有LOS/LOF告警，而没有MS\_RDI、MS\_REI，说明光缆很可能中断，因为远端劣化指示和远端误码指示无法回传。
2. 如果相邻两网元本端有LOS/LOF告警，另一端有MS\_RDI、MS\_REI，说明远端劣化指示和远端误码指示能够回传，可能是光纤单断或尾纤头脏、衰耗大，或本端收光板或对端发光板有故障。

# 网元间相互作用关系分析

## 分析处理对象

网元

## 分析处理流程

本节分别从网元拓扑变化对网元间关系的影响、网元行为状态相互作用，网元间管理状态相互作用三个方面对网元间的相互作用进行了分析，三者相互独立，没有先后顺序。

## 参与分析处理流程的用户角色

网元间相互作用分析主要应用于仿真系统对于网络拓扑、网元行为的仿真，供仿真系统内部使用，用户不直接参与分析处理流程。

## 应用场景

网络拓扑：应用于网络拓扑变化对网元间关系的影响分析。

网元行为状态仿真：应用于分析网元的故障、缺陷、正常三个行为状态对相关联网元的影响分析。

网元管理状态仿真：应用于分析网元的脱管、正常两个管理状态对相关联网元的影响分析。

## 分析处理结果的呈现方式

网元间相互作用分析属于网络仿真的后台功能，不直接对用户进行呈现。用户通过使用网络拓扑查看、告警监控、网元管理状态查看等应用来使用该后台功能。

## 网元间作用关系

### 网络拓扑变化对网元间关系的影响

由于传输网有静态冗余组网能力和动态倒换能力，改变网元间的链路连接关系从而导致网络拓扑发生改变的情况下，设备之间的关联关系也要发生相关的变化，进而使整个网络的健壮性发生改变（参见5网络健壮性分析）。

### 网元间行为状态相互作用

网元间行为状态的相互作用体现在网元故障、缺陷、正常三个状态对相关联网元的影响。

故障：网元故障：全部电源盘故障或全部机盘故障。网元的故障会引发对端网元的机盘上报LOS/LOF告警，根据告警的连锁机制，相关联的网元机盘也会上报告警，详情参见2.6.2告警关联规则。

缺陷：网元缺陷：部分机盘故障、机框风扇故障。网元的缺陷通过机盘上的告警进行指示，由于告警的连锁机制，相关联的网元机盘也会上报告警，详情参见2.6.2告警关联规则。

正常：网元正常：机框及全部机盘正常。处于正常状态的网元在关联网元发生故障或缺陷的情况下，网元的机盘会检测到告警信号，进而上报告警，详情参见2.6.2告警关联规则。

本节用示例说明了传输网网元间行为状态的相互作用。如图3-1 传输网络示例：

图3-1 传输网络示例

图中，图中有网元A、网元B、网元C、网元D、网元E、网元F、网元G七个网元，网元间通过a，b，c，d，e五条链路构成一个传输网络。链路的起点和终点均为网元中机盘的物理端口。其中，网元A、网元B、网元C、网元D和网元E属于子网1，网元F与网元G属于子网2。

网元A行为状态为故障，网元D的部分机盘故障，行为状态为缺陷。

除了发生故障的网元A，其他网元的相应机盘与物理端口均会上报告警，上报的主要告警列表见表3-1。

表3-1主要告警列表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 所属子网 | 网元名称 | 上报告警 |
| 子网1 | 网元B | LOS/LOF、MS\_AIS、AU\_AIS、TU\_AIS、MS\_RDI、HP\_RDI、LP\_RDI |
| 网元C | MS\_AIS、AU\_AIS、TU\_AIS、MS\_RDI、HP\_RDI、LP\_RDI |
| 网元D | LOS/LOF、MS\_AIS、AU\_AIS、TU\_AIS、MS\_RDI、HP\_RDI、LP\_RDI |
| 网元E | MS\_AIS、AU\_AIS、TU\_AIS |
| 子网2 | 网元F | 机盘故障告警 |
| 网元G | LOS/LOF、MS\_AIS、AU\_AIS、TU\_AIS、MS\_RDI、HP\_RDI、LP\_RDI |

*注：本表格中的告警只包含主要告警，仅作为网元间相互作用研究时进行参考。在实际仿真场景中，各厂商告警在数量和内容上会有较大差别，详情参考《传输设备特性建模研究》。*

### 网元间管理状态相互作用

仿真系统除了对传输网网元的行为状态进行了仿真，同时还对其管理状态进行仿真。在项目的研究报告3《仿真模型建模技术方案》中定义了对网元进行管理的资源对象：DCN网络、网关网元、ECC通道。一个SDH网络中有一个到多个DCN网络，一个DCN网络中有一个网关网元，其他网元通过ECC通道连接到网关网元，网元具有脱管和正常两种状态，网关网元脱管，会导致整个DCN网络中所有网元脱管，其他网元脱管会导致以该网元为起点的ECC通道中断，从而导致ECC路由中包含该ECC通道的网元全部脱管。本节用示例说明了传输网网元间管理状态的相互作用。如图3-2 DCN网络示例：

 图3-2 DCN网络示例

图中有网元A、网元B、网元C、网元D、网元E五个网元，网元间通过a，b，c，d，e五条ECC通道构成一个DCN网络，每个网元通过一条ECC路由连接至网关网元，如表3-2 ECC路由列表：

表3-2 ECC路由列表

|  |  |
| --- | --- |
| 网元名称 | ECC路由 |
| 网元A | a |
| 网元B | ab |
| 网元C | d |
| 网元D | ae |
| 网元E | abc |

图中，网元A脱管，则ECC通道a失效，所有包含该ECC通道的ECC路由失效，即ECC路由a、ab、ae、abc均失效，导致使用相应的ECC路由连接到网关网元的网元脱管，即网元A、网元B、网元D、网元E均脱管。

综上述，传输网的网元的管理状态会影响到与其使用同一条ECC通道来建立ECC路由的其他网元，一个网元的脱管会导致与其使用同一条ECC通道来建立ECC路由的其他网元脱管。

# N-X风险分析

N-X风险分析是指针对事先预设的对象（包括SDH设备和复用段）故障或者故障组合，确定它们对传输系统中的各个业务的影响及危害程度。

## 分析处理对象

业务数据

## 分析处理流程

1. 选择一个传输系统；
2. 选择系统中可能发生故障的对象（包括SDH设备和复用段），N-1分析时，选择一个对象，N-2分析时，选择2个对象，以此类推；
3. 分析上一步选择的这些对象同时发生故障时对业务的影响；
4. 将所有终端或者受影响的业务呈现给用户。

## 参与分析处理流程的用户角色

调度人员、运维人员、网建人员、管理员。

## 应用场景

网络规划:帮助网建人员评估网络规划方案的风险，量化网络实际运行情况，找出网络规划方案中的薄弱环节，从而在仿真网络中对网络规划方案进行修改优化，循环往复直至找到最佳的网络规划方案。

调度预案：帮助调度人员评估调度方案的风险，量化网络实际运行情况，找出调度方案中的薄弱环节，从而在仿真网络中对调度方案进行修改优化，循环往复直至找到最佳的调度方案。

操作与测试：帮助运维人员评估所作操作或测试的风险，量化网络实际运行情况，找出所作操作或测试的风险，从而在仿真网络中对操作或测试步骤和方法进行修改优化，循环往复直至找到最佳的操作或测试步骤，然后再对现网进行相应的操作或测试，减小直接对现网操作的风险。

## 分析处理结果的呈现方式

系统提供专门的界面分别呈现中断和受影响的业务。对于中断和受影响的业务在呈现时，分别按照业务的重要程度排序显示（重要的业务排前面）。

## N-X风险分析算法

### 概念

风险定义为失效事件概率与其造成的不良后果的乘积。

风险的数学表达式为

式中，表示对象i发生失效事件的概率，表示对象i失效后对电力通信业务造成的不良影响程度，为对象i失效对电力通信网/业务造成的风险。

N-X风险分析，指的是电力通信网中有X个元件因发生故障而强行退出网络对电力通信业务的影响及危害程度。

### 算法流程

N-X风险分析通过事先预设X个设备/光纤同时故障的方式，计算它们对电力系统安全运行相关的电力通信业务产生的影响及危害程度，具体方法由下面三个部分组成：

1）根据现网提供的数据，计算出指定X个设备/光纤同时失效的概率；

2）计算指定X个设备/光纤同时失效造成的业务损失；

（1）计算每类业务重要程度的权值；

（2）计算每类业务的失效概率；

（3）将（1）和（2）乘积作为指定X个设备/光纤同时失效造成的业务损失；

3）将1）和2）的乘积作为N-X风险值，用于定量表示X个设备同时失效对电力通信业务产生的影响及危害程度。

### 算法说明

N-X风险分析算法中包括以下值的计算：N-X风险值计算、元器件/光纤的失效概率计算、业务重要程度权值计算和业务失效概率计算。

#### N-X风险值的计算

设系统中包含元器件/光纤的总数为N，，则N-X风险分析定义为：为指定系统中的X个元器件/光纤发生故障而失效的风险值，X个若系统包含多个组件，各个组件的状态组合会产生多个事件模式，不同事件模式会对系统造成不同程度的影响，系统总的风险可以近似表示成不同事件模式风险之和。系统风险的表达式为

这里为指定的X个元器件/光纤同时失效对电力通信网/业务造成的风险，表示指定的X个元器件/光纤同时失效的概率，表示指定的X个元器件/光纤同时失效后对电力通信业务造成的不良影响程度，的值可以定量表示为：

表示X个元器件/光纤上承载的第j个业务的重要程度的权值，表示业务j的失效概率。

#### 元器件/光纤的失效概率的计算

算法一：

把厂商提供的元器件/光纤的故障概率作为失效率的值。

注意：这里Pi如果是光纤的话，在计算故障概率的时候，要考虑长度对发生故障概率的影响，每千米发生故障的概率×光纤长度。

算法二：

通过元器件/光纤运行状态的统计数据，计算元器件/光纤的失效率：

式中，MTBF为平均故障间隔时间(可用时间)，MTTR为平均故障修复时间(不可用时间)。

#### 业务重要程度权值的计算

在计算业务损失Ci的时候需要定义每类业务的重要程度的权值，在确定业务权值的时候，每类业务要同时将实时性、可靠性、安全性等业务性能等级因素（很高、高、中、低、很低）考虑其中，因此需要运用AHP层次分析法进行权值计算。

运用AHP层次分析法进行权值计算的4个基本步骤：

1. 建立递阶层次结构模型

将问题所包含的因素按属性不同而分层,可以划分为最高层、中间层和最低层.同一层次元素作为准则,对下一层次的某些元素起支配作用,同时它又受上一层次元素的支配,这种从上至下的支配关系形成一个递阶层次.最高层通常只有一个元素,它是问题的预定目标,表示解决问题的目的,因此也称目标层.中间层为实现总目标而采取的措施、方案和政策,它可以由若干个层次组成,包括所需考虑的准则、子准则,因此也称为准则层.最低层为实现目标可供选择的各种措施、决策方案等,用于解决问题的各种途径和方法,也称为方案层,如图4-1所示。当某个层次包含因素较多时(如超过9个),可将该层次划分为若干层。



图4-1递阶层次结构模型

1. 构造两两比较判断矩阵

设要比较n个因素X={，，…，}对目标Z的影响,确定它们在Z中所占的比重.每次取两个因素和，以表示和对Z的影响之比，得到两两比较判断矩阵：

其中，>0，=

确定用9标度赋值来表示，即采用1～9及其倒数作为标度的标度方法（见表3-1）。如果介于上述相邻判断中间，取值分别为2,4,6,8。

表3-1比较尺度的取值方法

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **/** | **相等** | **较强** | **强** | **很强** | **绝对强** |
|  | **1** | **3** | **5** | **7** | **9** |

1. 层次单排序及其一致性检验
2. 层次单排序。先解出判断矩阵A的最大特征值，再利用：

解出所对应的特征向量W，W经过标准化后，即为同一层次中相应元素对于上一层次中某因素相对重要性的排序权值。

1. 一致性检验.首先计算A的一致性指标CI,定义:

式中,n为A的阶数.当CI=0,即=n时,A具有完全一致性.CI愈大,A的一致性愈差。

将CI与平均随机一致性指标RI进行比较,令CR=，称CR为随机性一致。

表3-2给出了对于1~9阶判断矩阵的RI值。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **阶数n** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| RI | **0** | **0** | **0.58** | **0.90** | **1.12** | **1.24** | **1.32** | **1.41** | **1.45** |

1. 层次总排序及其一致性检验

利用同一层次中所有层次单排序结果,计算针对上一层次而言本层次所有元素重要性的权值,这就是层次总排序.设上一层次所有元素，，…，总排序已完成,其权值分别为，，…与对应的本层次元素，，…，单排序的结果为，，…，(当与无关时，=0)，B层总排序权值由表3给出

,总排序权值仍为标准化向量。

层次总排序一致指标为

式中，为与对应的B层次中判断矩阵的一致指标。

层次总排序随机一致性指标为

式中，为与对应的B层次中判断矩阵的随机一致性指标。

层次总排序随机一致性比率为

当时，认为总排序的计算结果有满意的一致性。

#### 业务失效概率的计算

业务的失效概率依赖于承载该业务的电路可靠性，而电路是由节点和链路构成的，所以可以将业务失效概率计算问题转化为由节点和链路采用串/并联方式连接而成的电路的可靠性问题。

电力通信网可以看成节点和链路(或边)的集合，每一条电路也是节点和链路的集合，节点和链路的可靠性直接影响电路的可靠性，进一步影响网络的可靠性。将节点和链路等效成部件，电力通信网就可以等效成系统，电力通信网的可靠性问题可以归纳为系统可靠性问题，其中网络部件可以采用基本可靠性的概念来描述，并且假设网络部件的寿命服从指数分布。

可靠性是一种随时间变化的、用来描述部件或系统处于不失效状态的概率。基本可靠性的数学表示为：

式中，t表示观测时间，T是一个随机变量，，，且，。

给定t，是失效时间T大于等于t的概率。

失效概率定义为：

式中，，.

假设电路P经过的节点集合，链路集合，那么，电路相当于经过该电路所有节点和链路的串联系统，电路可靠性是这些节点和链路可靠性的乘积。电路可靠性的表达式为

由式电路的失效概率的表达式为：

式中，为电路可靠性，x为节点数量，为第x个节点的可靠性，为第i个节点可靠性，为第i个链路的可靠性。

同理，可以分析多个节点和链路冗余配置情况下的失效概率，此时系统是并联节构。

### 局限性

在定义业务重要程度等级权值的划分需要采用专家经验与客观统计结合的方式，由于专家各自侧重的方面不同，不可避免的会引入主观因素，因此，业务重要程度等级权值需要在运行中不断调整。

# 网络健壮性分析

网络健壮性分析是通过对全网中的对象进行分析计算，从而得到网络运行的健康情况，以达到对网络当前实际运行情况量化评估的目的。结合故障定级原则，按照故障对网络安全性的影响程度，将计算得到的值按照一定的经验值进行分类，对应不同的预警级别，用以提示维护人员加强当前网络的安全维护。

## 分析处理对象

网络中的所有对象

## 分析处理流程

1. 统计全网中每一个对象承载的电力通信业务种类及数量；
2. 计算每类电力通信业务的权重；
3. 结合a)和b)的结果，计算每个对象的关键度指标；
4. 根据关键度阈值确定关键对象数量；
5. 计算关键对象占全网对象数的比例，即健康指数值；
6. 根据网络的健康指数给出网络的健壮性评价。同时，提醒用户对网络健康影响比较大的对象，应该增加保护措施。

## 参与分析处理流程的用户角色

调度人员、运维人员、网建人员、管理员。

## 应用场景

网络规划:帮助网建人员评估网络规划方案的风险，量化网络实际运行情况，找出网络规划方案中的薄弱环节，从而在仿真网络中对网络规划方案进行修改优化，循环往复直至找到最佳的网络规划方案。

调度预案：帮助调度人员评估调度方案的风险，量化网络实际运行情况，找出调度方案中的薄弱环节，从而在仿真网络中对调度方案进行修改优化，循环往复直至找到最佳的调度方案。

操作与测试：帮助运维人员评估所作操作或测试的风险，量化网络实际运行情况，找出所作操作或测试的风险，从而在仿真网络中对操作或测试步骤和方法进行修改优化，循环往复直至找到最佳的操作或测试步骤，然后再对现网进行相应的操作或测试，减小直接对现网操作的风险。

## 分析处理结果的呈现方式

系统应提供界面呈现网络的健康指数，并给出网络的健壮性评价；同时，系统应提供界面供用户查询对网络健康影响比较大的对象，从而对这些对象增加保护措施。

## 网络健壮性分析算法

### 概念

电力通信网健壮性定义为对电力通信业务有显著影响的对象占电力通信网中全部对象的比例，并以此来衡量电力通信网抵御故障的能力和网络结构的合理程度。

### 算法流程

通过网络健壮性分析得出网络中的关键对象（关键对象是指在网络中承载业务重要度高而被保护程度低的对象），即一旦发生故障将会对业务造成重大影响的网元或链路。关键对象越多，发生故障影响的范围越大，网络健壮性越弱。通过对网络健壮性进行分析，可以分析出当前网络的薄弱环节，从而针对该薄弱环节进行保护，从提高网络可靠性。算法流程如下：

1. 计算每类业务重要程度的权值；
2. 根据现网提供的数据，计算出对象的关键度值；

（1）计算对象承载的业务重要程度的权值之和；

（2）将（1）中的计算结果与该对象的保护通道数相除，商作为该对象的关键度值；

2）计算全部对象关键度值的幂平均值；

3）统计关键度值大于幂平均值关键度个数，即关键对象数；

4）将关键对象数与全体对象总数的比值作为健壮度值，用于定量表示网络结构的合理程度；

### 算法说明

网络健壮性分析算法包括对象关键度指标的计算和对象关键度阈值的计算。

#### 对象关键度指标的计算

将对象承载的业务权值求和后与保护/备用对象数的比值，作为对象关键程度的指标：

式中，KP为对象关键度指标，为对象承载的第i类业务重要程度的权值，为第i类业务的数量，由AHP层次分析法计算得到（见4.6.3.3节业务重要程度权值的算法模型），为保护/备用对象数。

#### 关键对象的定义与对象关键度阈值的计算

计算关键程度指标的幂平均值，将幂平均值作为对象关键度阈值，高于幂平均值的对象作为关键对象。

计算幂平均值的方法：

式中，表示对象的关键度指标值的p次幂平均值，p是一个非零实数；

当p=1时，即为算数平均值：

当时，的极限存在，即为几何平均数

当p=-1时，即为调和平均数

当p=2时，即为二次平均数；

### 局限性

阈值的选取存在较大的伸缩性，需要结合运行中的实际需要不断检验阈值的合理性，使其逐步接近网络运行的实际情况，精确的反应电力通信网抵御故障的能力和网络结构的合理程度，因此，需要结合实际环境，在不断运行中逐渐寻找适合的阈值。

# 故障根原因分析

在通信网中一个故障点的出现，往往会有多个对象上报告警，仅仅通过人工观测数量庞大的原始告警很难进行故障的准确定位。故障根原因分析就是通过对多条原始告警进行处理分析，找出故障根原因，从而协助运维人员快速准确的修复故障点，保证网络的正常运行。故障根原因分析是仿真系统运维仿真的重要功能。通过建立故障与告警因果关系库，并对历史故障进行数据挖掘完善规则库，依据规则分析仿真网络中实时采集到的告警信息判断出可能的根原因，从而实现对运维中故障诊断的仿真。

## 分析处理对象

告警和故障

## 分析处理流程

1. 通过告警观测窗口确定算法，首先选定合适的告警观测周期；
2. 其次对周期内的告警进行过滤，提取对应于不同网络故障的特征告警组；
3. 对特征告警进行压缩，去除重复告警；
4. 利用因果关系更新算法在历史告警数据库中搜索频发告警序列，获取与历史故障相对应的典型告警序列，对应每一个历史故障建立一个规则，其中，规则的<结论>等于历史故障，规则的<前提条件>对应于典型告警序列；
5. 最后根据历史故障与告警的因果关系的故障诊断规则库，确定故障根原因。

## 参与分析处理流程的用户角色

运维人员、管理人员。

## 应用场景

反事故演示：帮助演习人员对告警信息进行分析，从而进一步定位故障点，判断故障原因。

运维管理培训：帮助培训教师给学员教授故障定位和故障原因判断方法。

## 分析处理结果的呈现方式

1. 系统应提供单独的告警信息显示窗口，在该显示窗口中可以对告警信息进行查询、过滤等操作；
2. 系统应提供单独的特征告警显示窗口，在该显示窗口中可以对特征告警进行查询；
3. 系统应提供实时监控的界面，对故障诊断结果进行实时查看；
4. 系统应提供查询界面，按照各种条件对诊断的历史结果进行查询；
5. 对于诊断的结果，系统应能查询到该故障关联的所有特征告警、传输系统的网元、端口。
6. 故障诊断分析出故障后，应能以明显的方式进行呈现，提醒维护人员进行故障处理。

## 故障根原因分析算法

### 概念

特征告警：指故障引起的某些重要意义的告警，通过告警过滤与告警压缩获得。

典型告警：在一个稳定运行的光传送网中，通信专家往往可以通过分析历史故障和告警的典型案例等多种途径，获取这些与光传送网的历史故障有密切关系的告警。这里，将这些与光传送网的历史故障有密切关系的告警称为与某个故障相关的典型告警。

频发告警：在历史告警数据库中搜索出现频率高的告警，通过频发告警序列搜索算法获得。

告警过滤：从故障引起的大量的告警序列中提取特征告警组，过滤其他一些无意义、冗余的告警。

告警压缩：压缩特征告警组内多个同时发生的相同告警，进一步减少特征告警组中告警的数量。

### 算法流程

在光传送网中，当网络中发生故障时可能会产生大量的告警序列。例如：通信实体的单个故障会产生的连续告警序列，告警序列中包括了多个不同的告警。同一个故障还可能会被几个不同的通信实体检测到，导致不同的通信实体产生多个告警来指示同一个故障。因此，需要对这些告警序列进行过滤，将那些具有重要意义且有助于故障诊断的告警信息筛选出来。

告警序列经过告警过滤处理后，过滤出对应于不同网络故障的特征告警组。但是在特征告警组中还可能存在多个相同告警，因此需要对这些相同告警进行压缩处理，以提高后续的故障诊断的效率，这个过程称为告警压缩。告警压缩过程主要是压缩特征告警组内多个同时发生的相同告警，进一步减少特征告警组中告警的数量。

故障根原因分析的触发主要有2种方式，一种方式为实时告警触发，也就是当出现典型告警时触发根原因分析；另一种方式为定时触发，即每隔固定的时间触发一次根原因分析。在实际应用中，多采用定时触发方式，即定义一个的告警观测的周期，系统在告警观测周期到达时开始采集网络上报的告警序列，直到告警观测周期的结束。这个告警观测的周期称为告警观测窗口Wa。

故障根原因分析算法的流程如下：通过告警观测窗口确定算法，首先选定合适的告警观测周期，提取对应于不同网络故障的特征告警组；其次对周期内的告警进行过滤，提取对应于不同网络故障的特征告警组；而后对特征告警进行压缩，去除重复告警；再次根据故障与告警的因果关系更新算法改进由通信专家建立的故障与告警因果关系规则库；最后采用基于规则的方法对告警序列进行故障诊断，确定故障根原因。

### 算法说明

故障根原因分析算法包括告警观测窗口确定算法与因果关系更新算法。告警观测窗口确定算法用于选定合适的告警观测周期。因果关系更新算法用于故障与告警的因果关系的更新。

#### 告警观测窗口确定算法

告警观测窗口确定算法WindowSize（）的主要思想是：首先在告警相关性分析系统开始运行之前，预先设定一个较大的初始时间窗口，尽可能多的采集告警序列，以确保采集的告警序列中包含完整的特征告警组。然后对采集到的特征告警组进行分析，确定特征告警组上报时间T。在系统运行过程中，调整告警观测窗口Wa的大小，确保在尽可能短的时间窗口内采集到完整的特征告警组。

告警观测窗口的调整公式如下：

 （6-1）

其中，|Wa’|表示原来的告警观测窗口的大小，|Wa|表示调整后的新的告警观测窗口的大小。

证明：令有n个特征告警组，对应于不同的n个子网。不同的子网发生故障时，特征告警上报时间是不相同的。特征告警组上报时间是指在任意一个特征告警组中，从上报第一个特征告警到最后一个特征告警的历时，即。

| T |表示最大特征告警组上报时间，是n个特征告警组上报时间的最大值，即。

α，β是调整因子，且α＋β＝1，通常设置α＝0.9，β＝0.1。

由于任意一个特征告警组中的告警都是在一定大小的告警观测窗口Wa’中获取的，所以特征告警组上报时间小于等于告警观测窗口的大小|Wa’|，即

因此，最大特征告警组上报时间| T |也小于等于告警观测窗口的大小|Wa’|，即

根据告警观测窗口的调整公式，新的告警观测窗口的大小。

即

由此可以得出，调整后的新的告警观测窗口的大小|Wa|一定小于等于原告警观测窗口的大小|Wa’|。在多次调整之后，告警观测窗口的大小将趋于稳定。当时，结束告警窗口的调整。其中，τ＝0.5分钟。

告警观测窗口的确定方法具体步骤如图6-1所示。



图6-1告警观测窗口的确定方法

步骤1：在告警采集初始运行阶段，预先设定一个较大的初始告警观测窗，通常设置为30分钟。

步骤2：在告警观测窗口内，采集网络中上报的告警序列。

步骤3：告警预处理分析过程。告警过滤负责提取告警序列中的各个特征告警组，告警压缩负责压缩各个特征告警组内多个同时发生的相同告警。

步骤4：在告警预处理分析过程结束后，计算各个特征告警组的上报时间。

步骤5：计算最大特征组上报时间。

步骤6：计算新的告警观测窗口的大小。调整告警观测窗口的大小，在下一个新的时间窗口开始时，采集网络中上报的告警序列。

步骤7：循环执行步骤2~6，直到告警观测窗口稳定为止，即。

在告警观测窗口稳定以后，告警相关性分析系统就可以在一个相对小的时间窗口内，采集到完整的告警信息，进行告警预处理和故障诊断，提高系统执行效率。

#### 因果关系更新算法

因果关系是故障诊断的一个重要组成部分，描述了历史故障与典型告警序列之间的对应关系。本节采用数据挖掘方式，首先在历史告警数据库中搜索出现频率高的告警序列，即频发告警序列，然后利用频发告警序列更新原因果关系所包含的典型告警序列。这种方法使得因果关系更加准确、完备地反映网络中故障与告警间的对应关系。

因果关系更新算法UpdateAlarmSequenceMethod()的主要思想是：对K个告警观测窗口内的历史告警进行遍历，搜索频发告警序列。若频发告警序列满足下列两个条件：

（1）频发告警序列包含原因果关系中的典型告警序列，

（2）在K个告警观测窗口中，频发告警序列出现的总次数与典型告警序列出现的总次数相同。

则用频发告警序列替换原因果关系中的典型告警序列。

在介绍算法之前，首先介绍算法中用到的变量。

（1）定义告警序列={X1, X2, …,Xm}表示一组按照时间先后顺序上报的告警组。其中，t1, t2, …,tm是告警上报时间，满足t1< t2<…<tm。

告警序列的长度||等于告警序列中包含的告警的个数，即||＝m。

（2）定义Occur(, Wai)表示告警序列在第i个告警观测窗口Wa中出现的次数，其中，i是正整数，i=1,…,K。

（3）定义Total\_Occur()表示告警序列在K个告警观测窗口Wa中出现的总数，即

（4）定义典型告警序列集合S={S1,S2,…Sj,…,Sn}是指在因果关系中所描述的所有典型告警序列的集合。定义F1,F2,…Fj,…, Fn表示不同的历史设备故障。其中，Sj是在因果关系中定义的与历史故障Fj相对应的典型告警序列。

（5）定义原告警序列集合R\_Seq是指在K个告警观测窗口Wa内，出现的所有典型告警序列的集合，即典型告警序列集合S，Occur(, Wai)≥1, i=1,…, K｝。

（6）定义最小出现次数min\_occur是指在第i个告警观测窗口Wa内，典型告警序列的最小的出现次数，即min\_occur=Min(Occur(,Wai))。

（7）定义频发告警序列是指在第i个告警观测窗口Wa内，出现的次数大于等于门限值min\_occur的告警序列，即。

（8）定义频发告警序列集合F\_Seqm是指在第i个告警观测窗口Wa内，长度为m的频发告警序列的集合，且出现次数大于等于门限值min\_occur，即。

（9）定义满意告警序列集合S\_Seq是指在K个告警观测窗口Wa内，包含典型告警序列的频发告警序列的集合，即。

因果关系更新算法的核心是频发告警序列搜索算法，用于统计在告警观测窗口Wa内的出现的所有的频发告警序列，并对频发告警序列进行合并，生成新的告警序列。频发告警序列搜索算法主要由搜索算法和合并算法组成。搜索算法用于统计告警序列在告警观测窗口中出现的次数。合并算法用于合并告警序列，生成一个新的告警序列。

##### 搜索算法

搜索算法Robust\_search()的主要思想是：遍历第i个告警观测窗口Wa内所有的告警，搜索已知告警序列在Wa中出现的次数occur(,Wai)。算法Robust\_search()的具体步骤如下：

步骤1：初始化occur(,Wai)等于零。初始化指针P\_seq指向告警观测窗口起始位置，指针P指向告警序列起始位置。

步骤2：将指针P\_seq所指向的告警与指针P所指向的告警进行比较，判断告警名称是否相同。若相同，则指针P和P\_seq取下一个告警；否则，指针P\_seq取下一个告警。

步骤3：循环执行步骤2，直到指针P为空或者指针P\_seq+m不在告警观测窗口Wa内，则遍历结束。

步骤4：判断告警序列是否在告警观测窗口内出现。若指针P为空，则告警序列在告警观测窗口内出现一次，occur(,Wai)加1。设置指针P指向告警序列起始位置。

步骤5：循环执行步骤2～4，直到指针P\_seq+m不在告警观测窗口Wa内，则遍历结束。

##### 合并算法

合并算法Combine()的主要思想是：对已知频发告警序列集合F\_Seqm中的任意两个满足合并条件的告警序列和进行合并操作，生成一个新的告警序列，保存到临时告警序列集合Cm+1中。

若在频发告警序列集合F\_Seqm中，存在任意两个不同的告警序列＝{X1,X2,…, Xm-1,Xm},＝{Y1,Y2, …, Ym-1,Ym}。其中,，，满足合并条件：X2=Y1, X3=Y2, …, Xm=Ym-1，则将告警序列和进行合并操作，生成新的长度为m+1的告警序列＝{X1, X2, …,Xm, Ym}。

证明：已知告警序列＝{X1,X2,…,Xm}，即序列中的告警X1,X2,…,Xm的上报时间满足t1< t2<…< tm-1<tm。

告警序列＝{Y1,Y2, …,Ym}，即序列中的告警Y1,Y2, …,Ym的上报时间满足t’1< t’2<…< t’m-1<t’m。

又因为合并条件是：X2=Y1, X3=Y2,…, Xm=Ym-1，即有t2＝t’1, t3＝t’2, …, tm＝t’m-1成立。所以，告警X1,X2,…,Xm,Ym 的上报时间满足t1< t2＝t’1< t3＝t’2<…< tm-1<tm＝t’m-1<t’m。

因此，告警序列和可以进行合并，合并后生成新的告警序列＝{X1, X2, …,Xm, Ym}，序列长度等于m+1。

算法Combine()的具体步骤如下：

步骤1：初始化临时告警序列集合Cm＋1等于空集合。

步骤2：提取频发告警序列集合F\_Seqm中任意两个长度为m的告警序列和，判断的告警序列是否满足两两合并的条件。

若满足合并条件，则生成新的长度为m+1的告警序列，将新的告警序列保存到临时告警序列集合Cm+1。

若不满足合并条件，则不生成新的告警序列。

若在频发告警序列集合F\_Seqm中任意两两不同的告警序列均不满足以上合并的条件，则不生成新的长度为m+1的告警序列，即临时告警序列集合Cm+1为空。

##### 频发告警序列搜索算法

算法Search\_FrequencySeq()由算法Robust\_search()和算法Combine()组成。算法Search\_FrequencySeq()的主要思想是：在第i个告警观测窗口Wa中，利用算法Robust\_search()，统计临时告警序列集合Cm中告警序列在告警观测窗口中出现的次数，将满足条件的告警序列保存到频发告警序列集合F\_Seqm中。再利用算法Combine()，对F\_Seqm中满足合并条件的告警序列进行合并，生成一个新的长度为m＋1的告警序列，将所有新生成的告警序列保存到临时告警序列集合Cm+1中。如此循环，直至频发告警序列集合中的告警序列不能再进行合并为止，即临时告警序列集合为空。

算法Search\_FrequencySeq()的具体步骤如下：

步骤1：初始化临时告警序列集合C1等于告警观测窗口内所有长度m=1的告警序列的集合。

步骤2：利用算法Robust\_search()，统计告警序列在告警观测窗口中出现的次数Occur(,Wai)。

步骤3：判断的告警序列是否满足频发告警序列的条件。即判断告警序列的出现次数Occur(,Wai)是否大于等于门限值min\_occur。若成立，则将保存到频发告警序列集合F\_Seqm。

步骤4：循环执行步骤2~3，直到临时告警序列集合Cm中的所有的告警序列遍历结束为止。

步骤5：利用算法Combine()，合并F\_Seqm中满足合并条件的告警序列，生成长度为m+1的新告警序列，保存到临时告警序列集合Cm＋1中。

步骤6：循环执行步骤2～5，直至所有的频发告警序列无法再进行合并为止，即临时告警序列集合为空。

##### 因果关系更新总算法

在因果关系更新算法中，典型告警序列更新条件包括以下两个：

（1）频发告警序列包含原因果关系中的典型告警序列，即成立，

（2）在两个告警观测窗口中，频发告警序列出现的总次数与典型告警序列出现的总次数相同，即Total\_Occur()＝Total\_Occur()成立。

则用频发告警序列替换原因果关系中的典型告警序列，实现因果关系的更新。

证明：令在第i个告警观测窗口内上报的所有告警组成序列。已知频发告警序列是在该告警观测窗口内搜索到的，即。

因为成立，所以也成立。即当频发告警序列在Wa中出现一次时，典型告警序列也必然在Wa中出现一次。

所以Occur(, Wai) ≤Occur(, Wai)成立。其中，Occur(, Wai), Occur(, Wai)分别表示典型告警序列,在第i个告警观测窗口Wa中出现的次数。

又因为Total\_Occur()＝Total\_Occur()成立。即

K是告警观测窗口的个数。

当且仅当Occur(, Wa1)＝Occur(, Wa1), Occur(, Wa2)＝Occur(, Wa2), …, Occur(, Wak)＝Occur(, Wak)也同时成立。即在每个告警观测窗口中，频发告警序列与典型告警序列的出现次数都相同，且。

因此，当告警观测窗口数K趋向于无限大时，可以认为频发告警序列与典型告警序列是由于同一个故障所引起的。由于频发告警序列中包含了比更多的告警，能够比更准确地描述故障所引起的告警内容。所以用频发告警序列替换原因果关系中的典型告警序列，实现因果关系的更新。

因果关系更新算法UpdateAlarmSequenceMethod()的具体步骤如下，主要由两个大部分组成。第一部分是步骤1～8，即根据K个已知告警观测窗口内采集到的告警信息，搜索频发告警序列。其中，步骤1～5是对第i (i=1,…,K)个告警观测窗口Wa内的告警进行遍历，统计原因果关系中包含的典型告警序列出现的情况，建立原告警序列集合R\_Seq。步骤6是利用算法Search\_FrequencySeq()，统计在第i个Wa中的出现的所有的频发告警序列，建立频发告警序列集合F\_Seqm。步骤7是提取F\_Seqm中满足要求的频发告警序列，建立满意告警序列集合S\_Seq。步骤8是循环执行以上步骤，完成对K个已知告警观测窗口的遍历。第二部分是步骤9，即遍历集合S\_Seq中所有的告警序列，将满足更新条件的频发告警序列替换原因果关系中的典型告警序列。

步骤1：提取第i个告警观测窗口Wa内上报的告警。

步骤2：利用算法Robust\_search()，在告警观测窗口Wa内搜索出现的典型告警序列，计算的出现次数Occur(,Wai)。

步骤3：判断典型告警序列是否在告警观测窗口内出现。(和步骤2的区别是什么？步骤2已在告警观测窗口Wa内搜索出现的典型告警序列，并计算的出现次数，为什么还要在“步骤3：判断典型告警序列是否在告警观测窗口内出现”？)

若典型告警序列在Wa内出现，则将保存到原告警序列集合R\_Seq中，计算在告警观测窗口内出现的总次数Total\_Occur()。（根据Total\_Occur()的定义，Total\_Occur()是k个窗口的总次数

步骤4：设置min\_occur等于在R\_Seq中所有典型告警序列在Wa内最小出现次数。

步骤5：循环执行步骤2~4，直到典型告警序列集合S中所有的告警序列遍历结束为止。

步骤6：利用算法Search\_FrequencySeq()，统计在告警观测窗口Wa中的出现的所有的频发告警序列，建立频发告警序列集合F\_Seqm，并对频发告警序列进行合并。

步骤7：遍历集合F\_Seqm中所有的告警序列，判断告警序列是否满足加入满意告警序列集合S\_Seq的条件。

对于任意典型告警序列，若存在告警序列，有成立，则将告警序列加入集合S\_Seq。计算告警序列在告警观测窗口Wa内出现的总次数Total\_Occur()。

步骤8：循环执行步骤1～7，直到K个告警观测窗口Wa遍历结束。

步骤9：遍历集合S\_Seq中所有的告警序列，判断告警序列是否满足更新条件。

对于任意典型告警序列，若存在告警序列，有且Total\_Occur()＝Total\_Occur()成立，则用替代原因果关系中的典型告警序列，生成新的因果关系。

### 局限性

典型告警的获取是故障根原因分析的前提条件，也是一个难点，它直接影响着故障与告警因果关系的准确性。通信专家通过分析历史故障和告警的典型案例，或者通过相关的通信文档等多种途径，获得故障与告警的因果关系。这就对通信专家有较强的依赖性。

# 故障影响分析

故障影响分析是在故障根原因分析的基础上，对故障产生的影响范围和严重性进行分析。故障影响分析可以帮助维护人员更加清楚的了解该故障对具体业务的影响，以及影响的严重性，从而对故障进行分类。对于影响范围广和严重性比较高的故障优先处理。通过故障影响分析，可提升维护人员对故障的处理效率。

## 分析处理对象

告警和故障

## 分析处理流程

1. 先对告警数据进行故障根原因分析;
2. 在故障根原因分析的基础上，对故障产生的影响范围和严重性进行分析;
3. 分析出电路故障所影响的业务及相应的客户；
4. 分析出电路故障的受影响程度，包括中断、倒换、无保护和正常四类;
5. 分析出业务的受影响程度，包括中断、受影响和正常三类；
6. 通过分析结果将故障进行分类定级，将严重级别高的故障以比较醒目方式的呈现给用户，提示用户优先处理。

## 参与分析处理流程的用户角色

运维人员、管理员。

## 应用场景

反事故演示：帮助演习人员确定故障的影响范围，从而确定抢修顺序。

运维管理培训：帮助培训教师教授学员确定故障的影响范围。

## 分析处理结果的呈现方式

系统应将严重级别高的故障以比较醒目方式的呈现给用户,并通过各种方式提示用户优先处理。

系统应提供专门的界面呈现故障可能影响到的电路和业务。对于中断和受影响的业务要分别给出明显的提示。

## 故障影响分析算法

### 概念

故障影响分析是在故障根原因分析的基础上，对故障产生的影响范围和严重性进行分析。故障影响分析可以帮助维护人员更加清楚的了解该故障对具体业务的影响，以及影响的严重性，从而对故障的影响范围和严重程度进行排序。对于影响范围广和严重性比较高的故障优先处理。通过故障影响分析，可大大提高维护人员对故障的处理效率。

### 算法流程

由于不同的对象发生故障的影响范围不同（例如一个设备故障和一个端口故障的影响范围是明显不同的），同一个对象的不同状态的故障影响范围也不同（例如同一个设备，故障和缺陷的影响范围也是不同的），所以首先需要对不同对象以及对象的各个非正常状态进行等级划分，然后根据划分的等级从而对故障进行严重性分析并排序。

### 算法说明

故障影响分析算法是基于对象及对象非正常状态分类基础上的针对对象故障状态等级的划分，包括故障影响度计算和对象故障等级划分。

**1）对象及对象非正常状态分类**

根据仿真系统的资源模型和资源所属的层次，将对象分为3类：设备层资源对象、网络层资源对象、业务层资源对象；并且，对每类资源对象及其可能存在的非正常工作（故障）状态进行汇总，详细分类信息见表7-1。

表7-1 资源对象及其可能存在的非正常工作状态

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 状  态  对  象 |  |  |  |  |
| **设备层资源** | | | | |
| 站点 | 故障 |  |  |  |
| 机房 | 故障 | 缺陷 | 停电 |  |
| 电源设备 | 故障 |  |  |  |
| 光缆接头盒 | 故障 |  |  |  |
| 光缆段 | 中断 |  |  |  |
| 光纤 | 中断 | 劣化 | 虚接 |  |
| 数字配线 | 中断 | 接触不良 |  |  |
| 发光端口 | 故障 | 缺陷 |  |  |
| 收光端口 | 故障 | 缺陷 |  |  |
| 同轴电缆端口 | 故障 | 缺陷 |  |  |
| ODF端子 | 被拔出 |  |  |  |
| DDF端子 | 被拔出 |  |  |  |
| 机框 | 故障 | 缺陷 |  |  |
| 机槽 | 机盘不在位 |  |  |  |
| 机盘 | 电源盘故障 | 时钟盘故障 | 控制盘故障 | 线路盘故障 |
|  | 支路盘故障 | 交叉盘故障 |  |  |
| **网络层资源** | | | | |
| 电源系统 | 故障 | 缺陷 |  |  |
| SDH设别 | 故障 | 缺陷 | 脱管 |  |
| 管理通道 | 中断 |  |  |  |
| EMS | 故障 | 北向接口故障 | 南向接口故障 |  |
| 时钟设备 | 故障 |  |  |  |
| 逻辑端口 | 故障 | 缺陷 | 误码 |  |
| 交叉连接 | 未创建 | 未激活 | 误删除 |  |
| 子网连接 | 未创建 | 未激活 | 误删除 |  |
| 保护组 | 失效 | 保护倒换失败 |  |  |
| 单向通道保护环 | 主控板故障 | 线路板故障 | 支路板故障 | 系统属性配置错误 |
|  | 支路板属性配置错误 |  |  |  |
| 复用段保护环 | 主控板故障 | 线路板故障 | 支路板故障 | 保护倒换协议不正常 |
|  | 复用段节点参数改变 |  |  |  |
| **业务层资源** | | | | |
| 电路 | 保护倒换失败 | 去激活 | 误删除 |  |

**2）**对象故障状态等级划分方法

对象故障状态等级划分方法包括两部分内容：故障影响度计算方法、故障等级划分方法。

**（1） 故障影响度计算：**

其中，为各对象发生故障后的影响程度，为第j个业务的相对重要度权值，为第j个业务状态的相对权值，n为业务数量；

其中，为各对象状态重要程度，为各类业务的重要度权值总和；

其中，为业务总数；



其中，为第j业务状态权值，为业务状态权值总和；

其中，为业务状态总数；



**（2） 对象故障等级划分：**

其中，为属于第i个等级的对象的重要程度（）的取值范围，为第i级对象状态权重的最小值，为第i级对象状态权重的最大值，，为最大等级。

其中，为第i-1级对象状态权重的最小值，为每个等级的宽度。

其中，为对象状态权重最小值，为对象状态权重最大值。

其中，为第0级对象状态权重的最小值。

### 局限性

在定义业务重要程度等级权值的划分采用专家经验与客观统计结合的方式，由于专家各自侧重的方面不同，不可避免的会引入主观因素，因此，业务重要程度等级权值需要在运行中不断调整。