

# 光纤通信网可靠性评估方法及其应用研究

廖晓闽<sup>1</sup>, 韩双利<sup>2</sup>, 张引发<sup>1</sup>, 李洪顺<sup>1</sup>

(1.西安通信学院 光通信实验室,西安 710106;2.解放军 95956 部队,西安 710061)

**摘要:**首先,构建了光纤通信网可靠性评估指标体系,在此基础上设计了光纤通信网可靠性评估模型,主要包括链形系统和栅格形系统。然后,搭建实验系统,分析组网方式、典型干线和重要节点对网络可靠性的影响,验证了光纤通信网可靠性评估模型,提出了提高网络可靠性的相关建议措施,为光纤通信网的可靠性评估提供了新思路和新方法。

**关键词:**光纤通信网;可靠性;链形系统;栅格形系统

**中图分类号:** TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2013)01-012-04

## Research on reliability evaluation approach and application of optical transport network

LIAO Xiao-min<sup>1</sup>, HAN Shuang-li<sup>2</sup>, ZHANG Yin-fa<sup>1</sup>, LI Hong-shun<sup>1</sup>

(1.Optical Communication Laboratory of Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106, China;2.PLA 95956 Troops, Xi'an 710106, China)

**Abstract:**At first, reliability evaluation indexes of optical transport network are built,then reliability evaluation models are designed,they are chain system and network system.At last,experiment system is built,the effects on reliability of network building manners,typical trunk line and important point are analyzed,reliability evaluation models of optical transport network are validated,advices of improving reliability are presented,these provide new thoughts and methods for reliability evaluation of optical transport network.

**Key words:**optical transport network;reliability;chain system;network system

### 0 引言

随着密集光波分复用(DWDM)传输技术的飞速发展,光纤通信网由点到点的链网、环形网逐步向网状网演变。由于网络规模日益扩大,通信业务量高速增长,使得传输服务的中断将对整个网络造成严重的后果。例如,当一个32×2.5Gb/s的DWDM系统发生中断,将影响96万个话路正常通信<sup>[1]</sup>。因此,光纤通信网的可靠程度直接影响所承载业务的服务质量(QoS),开展光纤通信网的可靠性研究具有十分重要的现实意义。

### 1 光纤通信网可靠性评估指标体系构建

光网络部件的可靠性一般都服从指数分布<sup>[2]</sup>,其指数分布的概率密度函数,又称作失效密度函数为:

收稿日期:2012-09-10。

基金项目:某基金资助。

作者简介:廖晓闽(1984-),女,讲师,研究方向为光传送网关键技术。

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t} \begin{cases} 0 \leq t \\ 0 < \lambda \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 $\lambda$ 为产品的失效率,一般电子元器件的失效率都以菲特(FIT)为单位<sup>[3]</sup>,即用 $10^{-9}/h$ 为单位。

可靠度是产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的概率<sup>[4]</sup>,一般记为 $R$ ,它是时间的函数,故可记为 $R(t)$ ,称为可靠度函数。若用随机变量 $T$ 表示产品从开始工作到发生失效或故障的时间, $t$ 表示某一指定的工作时刻,则产品在时间 $t$ 的可靠度为:

$$R(t)=P(T>t)=\int_t^{\infty} f(t)dt=e^{-\lambda t} \quad (2)$$

### 2 光纤通信网可靠性评估模型设计

在设计可靠性评估模型之前,首先假设系统和部件具有以下性质:

①部件和系统都只有正常和失效两种状态;

②系统的状态完全由系统的可靠性框图和部件的状态决定;

③同一类型部件的失效率为常数,简化计算过程,保证服从负指数分布;

④各部件状态改变是独立的。

目前光纤通信网包括两类典型系统,即链形系统和栅格形系统,因此依据前面构建的可靠性评估指标体系,结合系统类型设计可靠性评估模型。

### 2.1 链形系统

链形系统的可靠性框图如图 1 所示。整个链形系统的可靠度  $R_c(t)$  为:

$$R_c(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\lambda_{ss} t} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

式(3)中  $R_i$  为第  $i$  个部件的可靠度,  $\lambda_{ss} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$  为系统的总失效率。

从式(3)可以看出,系统的总失效率为所有部件失效率之和,指数分布的



图 1 链形系统的可靠性框图

部件构成的链形系统仍为指数分布。链形系统是在每个元件都是可用的情况下,整个系统才是可用的,链形系统的可靠性比系统中的任何一个元件的可靠性还要低。在光网络中,要提高网络的可靠性,就应该尽量避免网络中有太多的链形通路和太长的链形通路。

### 2.2 栅格形系统

栅格形系统的可靠性框图如图 2 所示。整个栅格形系统的可靠度  $R_n(t)$  为:

$$R_n(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - e^{-\lambda_i t}] \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (4)$$

式(4)中  $R_i$  为第  $i$  个部件的可靠度。从式(4)可以看出,相对于链形情况,栅格形提高了系统整体的可靠性,相当于有一个工作元件,其它与栅格形连接的为保护元件。这样,从用户角度来看,系统的可靠性增加了,这也是光网络中加入保护链路、保护通路和冗余节点的原因。

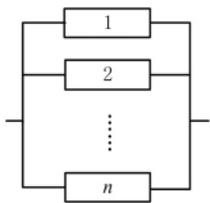


图 2 栅格形系统的可靠性框图

## 3 光纤通信网可靠性评估模型验证

以某地区传输网的部分拓扑结构为例,抽取 7 条干线和 10 个节点,采用 CoreDirector Designer 仿真软件搭建实验系统模型,如图 3 所示。

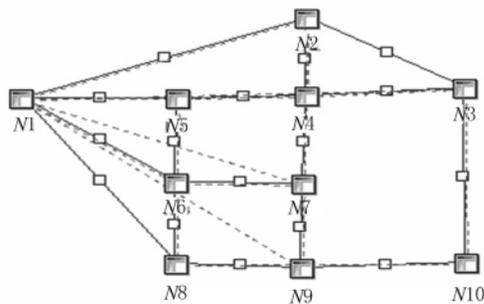


图 3 实验系统模型

7 条干线的业务流向是双向的,具体业务路径如表 1 所示。

表 1 业务配置表

干线号	业务号	业务路径
干线一 N1 $\frac{368}{\text{公里数}}$ N2 $\frac{146}{\text{公里数}}$ N3	业务 1	N1-N2
	业务 2	N1-N2-N3
	业务 3	N5-N4-N3
干线二 N1 $\frac{197}{\text{公里数}}$ N5 $\frac{154}{\text{公里数}}$ N4 $\frac{241}{\text{公里数}}$ N3	业务 4	N1-N5-N4
	业务 5	N4-N3
	业务 6	N1-N6-N7
干线三 N1 $\frac{506}{\text{公里数}}$ N6 $\frac{273}{\text{公里数}}$ N7	业务 7	N1-N6
	业务 8	N6-N7
	干线四 N1 $\frac{917}{\text{公里数}}$ N8 $\frac{574}{\text{公里数}}$ N9 $\frac{672}{\text{公里数}}$ N10	业务 9
业务 10		N8-N9-N10
干线五 N5 $\frac{385}{\text{公里数}}$ N6 $\frac{426}{\text{公里数}}$ N8		业务 11
	业务 12	N6-N8
	干线六 N2 $\frac{182}{\text{公里数}}$ N4 $\frac{316}{\text{公里数}}$ N7 $\frac{532}{\text{公里数}}$ N9	业务 13
业务 14		N2-N4
干线七 N3 $\frac{1021}{\text{公里数}}$ N10		业务 15

下面分别分析组网方式、典型干线和重要节点对网络可靠性的影响。

### 3.1 组网方式

在图 3 中,实验系统要素分为两部分,即节点和线路。假设 10 个节点使用的设备相同,节点失效率为  $1 \times 10^4$  FIT,每千米光纤失效率为 100 FIT。下面分别从链形组网、环形组网和栅格形组网三种组网方式分析网络的可靠性能。

## 3.1.1 链形组网

如果采用链形组网方式,则各条干线单独工作,采用式(3)分别计算15个业务一年的可靠性,即 $t=8760h$ ,若干线承载的业务都失效,则该干线失效。因此,选取可靠性最大的一个业务作为整个干线的可靠性,7条干线一年工作的可靠性如表2所示。

表2 干线可靠性

干线号	可靠性
干线一	0.6080
干线二	0.6226
干线三	0.6608
干线四	0.2581
干线五	0.5990
干线六	0.7156
干线七	0.3431

如果7条干线都失效,则整个网络失效。因此,我们选取7条干线中可靠性最大的干线作为整个网络的可靠性,则由7条干线组成的网络可靠性为0.7156。由此可见,由单纯的7条干线链形组成的网络,其可靠性较低。

## 3.1.2 环形组网

将图3中的7条干线组成环形网,当某条业务失效时,可以寻找另一条路径来恢复业务。采用式(4)分别计算15个业务一年的可靠性,如表3所示。

表3 环形组网的业务可靠性

业务号	可靠性	业务号	可靠性
业务1	0.7811	业务9	0.3852
业务2	0.7040	业务10	0.3424
业务3	0.7163	业务11	0.7609
业务4	0.7718	业务12	0.6712
业务5	0.8403	业务13	0.3862
业务6	0.6287	业务14	0.8714
业务7	0.7518	业务15	0.4322
业务8	0.7738		

如果15个业务都失效的话,则整个网络都失效,因此我们选取7条干线中可靠性最大的业务作为整个网络的可靠性,则采用环形组网方式组建的网络可靠性为0.8714。可以看出,将7条干线组成环形网来传递业务,相比链形组网方式来说,可靠性提高了15.58%。

## 3.1.3 栅格形组网

将图3中的7条干线组成栅格形网络,当某条业务失效时,采用光信令和路由协议(Optical Signaling

and Routing Protocol,OSRP)来寻找至少两条路径恢复业务。恢复路径表如表4所示。

表4 恢复路径表

业务号	业务路径	第一条恢复路径	第二条恢复路径
业务1	N1-N2	N1-N5-N4-N2	N1-N6-N7-N4-N3-N2
业务2	N1-N2-N3	N1-N5-N4-N3	N1-N8-N9-N10-N3
业务3	N3-N4-N5	N3-N2-N1-N5	N3-N10-N9-N7-N6-N5
业务4	N1-N5-N4	N1-N2-N4	N1-N6-N7-N4
业务5	N3-N4	N3-N2-N4	N3-N10-N9-N7-N4
业务6	N1-N6-N7	N1-N5-N4-N7	N1-N8-N9-N7
业务7	N1-N6	N1-N5-N6	N1-N8-N6
业务8	N6-N7	N6-N5-N4-N7	N6-N8-N9-N7
业务9	N1-N8-N9	N1-N6-N7-N9	N1-N2-N3-N10-N9
业务10	N8-N9-N10	N8-N6-N7-N9-N10	N8-N1-N2-N3-N10
业务11	N5-N6	N5-N1-N6	N5-N4-N7-N6
业务12	N6-N8	N6-N1-N8	N6-N7-N9-N8
业务13	N2-N4-N7-N9	N2-N1-N8-N9	N2-N3-N10-N9
业务14	N2-N4	N2-N3-N4	N2-N1-N5-N4
业务15	N3-N10	N3-N4-N7-N9-N10	N3-N2-N1-N8-N9-N10

采用式(4)分别计算15个业务一年的可靠性,如表5所示。

表5 栅格形组网的业务可靠性

业务号	可靠性	业务号	可靠性
业务1	0.8164	业务9	0.4426
业务2	0.7157	业务10	0.3919
业务3	0.7292	业务11	0.8487
业务4	0.8344	业务12	0.7404
业务5	0.8515	业务13	0.4710
业务6	0.6731	业务14	0.9196
业务7	0.8106	业务15	0.4644
业务8	0.8154		

由表5可以看出,采用栅格形组网方式组建的网络可靠性为0.9196。相比链形组网方式来说,可靠性提高了20.40%;相比环形组网方式来说,可靠性提高了4.82%。本文仅考虑了两条恢复路径的情况,在栅格

形网络中,恢复路径越多,网络可靠性越高,组网优势越明显。

### 3.2 典型干线

在图 3 建立的实验系统模型中,通过删除干线六(N2-N4-N7-N9)来分析典型干线对网络可靠性影响程度。以栅格化组网方式为例,采用 3.1.3 的方法计算网络可靠性,结果为 0.8487,网络可靠性降低 7.09%。同样,采用相同方法可以计算干线六在链形组网和环形组网中对网络可靠性的影响程度,也可以计算在不同组网方式下其他干线对网络可靠性的影响程度。

### 3.3 重要节点

在图 3 建立的实验系统模型中,通过删除节点 N4 来分析典型节点对网络可靠性影响程度。以栅格化组网方式为例,采用 3.1.3 的方法计算网络可靠性,结果为 0.8046,网络可靠性降低 11.50%。同样,采用相同方法可以计算节点 N4 在链形组网和环形组网中对网络可靠性的影响程度,也可以计算在不同组网方式下其他节点对网络可靠性的影响程度。

### 3.4 结果分析

通过分析组网方式、典型干线和重要节点对网络可靠性的影响值,我们可以看出,要提高网络的可靠性可以从以下几个方面入手:

①采用环形组网或栅格形组网方式来提高网络的可靠性。将网络组成环网或栅格形网络,可以在很大程度上提高网络可靠性,特别是在栅格形网络中,

栅格形通路越多,恢复路径选择范围越大,从而极大提高局部网络的可靠性。

②增加链路数量,缩小网孔,网络可靠性会明显提升。通过增加或删除典型干线,在一定程度上会影响网络的可靠性,各个干线对网络可靠性的影响程度与干线业务配置有关联。

③对重要节点枢纽实施重点保护,制定有效的重保方案,确保其正常运转。通过增加或删除重要节点,对网络可靠性有一定的影响,各个节点对网络可靠性的影响程度也与网络业务配置有关联。

## 4 结束语

本文设计并验证了光纤通信网可靠性评估模型,定量分析了组网方式、典型干线和重要节点对网络可靠性的影响。通过对仿真结果进行比较,提出了提高网络可靠性的建议措施,为光纤通信网的可靠性评估提供了科学合理的新思想和新方法。

### 参考文献:

- [1] 廖晓闯. DWDM 光网络智能化故障定位系统的设计与实现 [D]. 西安:西安通信学院,2009:1.
- [2] 鄂洪涛.混合失效率及其单调性研究[D].成都:西南交通大学,2010:11.
- [3] 葛晨晖.光网络的可靠性研究[D].南京:东南大学,2004:11.
- [4] 顾清.网络环境可靠性保障技术研究及应用[D].上海:上海交通大学,2008:12.

## 参考文献著录规则(一)——总要求及期刊的著录格式

为了帮助向本刊投稿的作者按规范著录参考文献,现将常见类型文献的著录格式作如下要求。

参考文献中的责任者采用姓在前名在后的著录形式。无论中外人士一律姓在前名在后;外国著者的“名”可以用缩写字母,“姓”全部大写,“姓”和缩写的“名”之间勿用“.”,而是空格。如原文中作者为“P. S. 昂温”则在本刊要求中应写成“昂温 P S”,Albert Einstein Seny 应写成 EINSTEIN A S。参考文献的责任者不超过 3 位时,全部照录。超过 3 位时,只著录前 3 位责任者,其后加“等”或与之相应的词。

不同的文献类型均有相应的标志代码:[M]为普通图书;[C]为会议录;[G]为汇编;[N]为报纸;[J]为期刊;[D]为学位论文;[R]为报告;[S]为标准;[P]为专利;[Z]为其它未说明的文献。

### ◆期刊的著录格式:

[序号] 著者. 题名[J]. 刊名, 出版年份, 卷(期):起-止页码.

[1] 蒋超,张沛,张永军,等.基于 SRLG 不相关的共享通路保护算法[J].光通信技术,2007,31(7):4-6.

[2] DIANOV E M, BUFETOV I A, BUBNOV M M, et al. Three-cascaded 1407nm Raman laser based on phosphorus-doped silica fiber[J]. OPTICS LETTERS, 2000, 26(6):402-404.

### ◆期刊(无卷)的著录格式:

[序号] 著者. 题名[J]. 刊名, 出版年份(期):起-止页码.

[1] 周可,冯丹,王芳,等.网络磁盘阵列流水调度研究[J].计算机学报,2005(3):319-325.