

一种新的 SDH 传送网的业务可用性分析方法

邓 歆, 孟洛明

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘 要: 如何评估和量化分析网络可用性已经成为一个重要的研究课题。该文提出了一个评价光传送系统业务可用性模型, 在该模型中, 端到端的业务可用性是基于链路的串联和并联结构来分析的, 研究了具有自愈保护机制的 SDH 业务可用性。传输线路和设备的故障率是基于一个较长的时间段内的计算值。该文验证了基于业务的光传送网的可用性分析的可操作性。

关键词: 可用性; 平均故障间隔时间; 平均故障修复时间

New Approach for Business Availability of SDH Transport Network

DENG Xin, MENG Luoming

(State Key Laboratory of Network and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

【Abstract】 It becomes a critical issue to access and quantify the availability of most networks. This paper presents a novel framework to access the availability of end-to-end traffic in the optical transport network. In this framework, the end-to-end traffic is analyzed by serial structure and parallel structure. It just focuses the ring network availability based on SDH technology that has self-healing mechanism. Calculation of availability is made using the failure of optical cables and equipments that are obtained during years-long observation. At last, the applicability of this framework is also examined in actual networks.

【Key words】 Availability; Mean time between failure(MTBF); Mean time to repair(MTTR)

目前,在我国各大运营商已经建立起日益庞大的 SDH 传送网,为各种信息和业务的传送提供基础保证。以往的网络管理系统只是被动地对网络中现有的各种设备和线路采集告警和性能相关的数据,没有充分利用已经采集上来的各种数据资源进行深入的挖掘,为网络运行状况提供参考。

可用性是通信系统性能的一个重要指标。为了提高系统的经济性和可维护性,在设计时就应该明确系统总的可用性指标,对各个部分的可用性提出要求;或在已知各个部分的可用性时,估算系统总的可用性是否达到要求。在系统设计时,系统的可用性估算是必要的。对于建设好的网络,如何评价网络实际运行和维护状况,并在维护和管理中提高网络可用性,指导系统的进一步规划和扩容,是网络管理方面的重要的研究课题。

要确保和提高系统的可用性,必须采取措施提高平均故障间隔时间(MTBF),减少平均故障修复时间(MTTR)。故障情况如下:(1)SDH 环上的光纤线路故障引起的传输中断;(2)一个节点设备的线路盘故障引起的传输中断;(3)某一个中继站的设备盘故障引起的传输中断;(4)SDH 环保护功能失效引起的传输中断;(5)其他一些因素影响,包括供电系统故障、制冷系统故障等。本文将第(1)种情况称为线路故障,后 4 种情况通称为设备故障。

1 相关的研究

如何评估和量化分析网络弱点已经成为一个重要的研究课题。文献[1]是基于 Markov 模型来分析 SONET 网的可用性的分析,利用稳态 Markov 模型中的状态转移概率平衡的特点求解系统稳态可用度。文献[1]是基于一个假设的前提条件,即网络中各传输线路段出现故障的概率 λ 都是相等的,不考虑时间、地点对故障率 λ 的影响。但是在实际的 SDH 传

送网中,由于传输线路所处的地理位置不同,受到的天气等自然因素影响不同,故障率是各不相同的,并不服从均匀分布,因此不能简单地使用一个统计平均的故障率来描述。

文献[2]提出了端到端的业务可用性的概念,计算在满足一定的网络可用性下,备品备件所需要的储备数量。文献[3]提出了基于串联和并联方法,对 SDH 传送网可用性进行分析。但是文献[2,3]中没有考虑 SDH 传送网的自愈机制,保护通路实际上和工作通路的一个并联结构,在 SDH 环路上如果有一个复用段发生故障,系统可以自动切换而业务不受影响。文献[4]将 SDH 传送设备分为再生节点和终端节点,讨论了 SDH 传送网的路径保护和自愈保护对网络可用性的影响。但是其没有指出如何从实际网络运行维护数据中,提取有效数据对网络的可用性进行量化的分析。

本文提出了一种基于串联和并联的分析方法,将工作通路的各个复用段线路看作是一个相互串联的系统,并且兼顾 SDH 传送网的自愈特点,对在实际应用中较多的二纤双向复用段保护环进行数学建模,将保护通路作为工作通路的一个并联结构,系统地讨论了端到端的业务可用性。本文还根据设备故障所影响到的传输线路,将设备故障归结到相关的传输线路故障中,从而简化模型。

本文还提出了平均故障间隔时间 MTBF 和平均故障修复时间 MTTR 的计算方法,对 SDH 传送网的可用性进行量化

基金项目: 国家自然科学基金资助重大项目(90204002);国家自然科学基金资助项目(60572121)

作者简介: 邓 歆(1977 -),女,博士生,主研方向:网络管理,通信软件;孟洛明,教授、博导

收稿日期: 2006-02-18 **E-mail:** dengxin@bupt.edu.cn

的分析。

2 端到端的业务可用性分析方法

2.1 可用性参数制定

可用度A是对于给定的一个随机时间t,在t时刻网络处于可用状态的概率。在通信系统中对可用性的分析一般建立在以下的一些基本假设基础之上^[5]：

- (1)被分析的所有元素只有两种状态：正常工作状态和故障状态；
- (2)各个元素发生故障之间是相互独立的；
- (3)正常工作时间和故障修复时间都是无记忆的独立随机过程，且具有恒定的均值；
- (4)平均故障间隔时间 MTBF 远远大于平均故障修复时间 MTTR。

光传送网是一个可修复系统，处于工作 - 故障 - 修复多次经历过程，如图 1 所示。无故障的时间占总的系统运行时间的比率越大、故障时间占的越小，则可修复系统的可用度越高。



图 1 可修复系统可用度模型

目前，最通用的计算可用性的公式为

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

平均故障间隔时间 (Mean Time Between Failure, MTBF) 是故障率 λ 的倒数。平均故障间隔时间 MTBF 和 λ 一样时在有效期内故障发生的频繁程度的量。MTBF 并不等同于使用寿命。可修复系统的可靠性不仅仅依靠于故障频率，还依靠故障的持续时间。平均故障修复时间 MTTR (Mean Time to Repair) 是用来度量故障时间的，是修复故障的平均时间。对 MTTR 起作用的因素有设备的可维护性、维护组织的有效性和地区因素。MTTR 数值是光传送系统运行维护的一个重要因素。

定义在一段时间 T 内监测某个传输单元，统计发生故障的次数 d，则平均故障间隔时间为

$$MTBF = \frac{T}{d} = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

定义在一段时间 T 内监测某个传输单元，统计发生故障的次数 d，记录每个故障的修复时间分别记录为 t_1, t_2, \dots, t_d ，则平均故障修复时间为

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^d t_i \alpha_i}{d} \quad (3)$$

由于不同时间段发生的故障对业务的影响程度有所不同，因此相应的故障修复重要程度也有所不同。定义 α_i 表示对故障发生时间的加权值。例如，将一天 24h 划分为 3 个时间段，定义在 8:00—20:00 发生的故障 $\alpha_1 = 2$ ，在 20:00—24:00 发生的故障 $\alpha_2 = 0.8$ ，在 0:00—7:00 发生的故障 $\alpha_3 = 0.2$ 。

从实际网络运行维护数据中，统计在一定时间内，每个 SDH 环的不同复用段的故障修复时间、故障次数，求解出平均故障间隔时间 MTBF 和平均故障修复时间 MTTR。为了保证统计数据能够较为正确和公正地反映网络的实际情况，应该选取较长的统计时间的范围，如 1~2 年的时间。

2.2 可用性模型分析

比较复杂的系统通常可以分解为较简单的子系统。如果

子系统的平均故障间隔时间 MTBF 和平均故障修复时间 MTTR 是已知的，可通过计算来求解复杂系统的可用度。因为复杂系统的运行依赖于子系统的正常运行，所以这种依赖关系与系统的结构有关。这种结构大致可以分为以下几种：

(1)串联系统：系统的运行是以各个子系统全部运行为前提条件，只要有一个子系统失效，整个系统就不能正常运行。在 SDH 光传送系统中，不考虑路由保护时，为客户提供的一条端到端的电路，就可以看作是由多条通路相互串联而成的。当一条通路发生故障后，整条电路的业务中断。

(2)并联系统：系统的失效的前提条件是：全部子系统必须全部失效，只要有一个子系统可以正常运行，整个系统就可以工作。在 SDH 自愈环网保护方式下，考虑路由保护，当业务路由中有一条通路发生故障后，系统自动切换业务到保护通路而不影响业务的传送。这时保护通路和工作路由就构成了一个并联系统。在 SDH 光传送系统中，当一条业务路由经过多个 SDH 环，而每个 SDH 环都有各自的保护机制，这时保护通路和工作路由就构成了一个串并混合系统。

(3)串并混合系统。

在串联系统中(图 2)，可用性 A 就是各个子系统可用度的乘积。

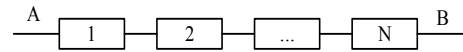


图 2 串联系统

$$A_{AB} = A_1, A_2, \dots, A_N = \prod_{i=1}^n A_i \quad (4)$$

$$U_{AB} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - U_i)$$

在实际中，不可用度 U 远远小于 1，不可用度 U 可用下面的公式近似。

$$U_{AB} = \sum_{i=1}^n U_i \quad (5)$$

$$A_{AB} = 1 - U_{AB} = 1 - \sum_{i=1}^n U_i$$

在并联系统中(图 3)，此时全系统失效，必须所有子系统失效，即全系统的不可用度等于各个子系统不可用度的乘积。

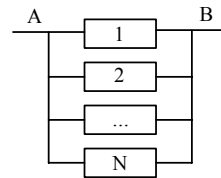


图 3 并联系统

$$A_{AB} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \quad (6)$$

$$U_{AB} = U_1 U_2 \dots U_N = \prod_{i=1}^n U_i$$

在混合系统中(图 4)，可以先将系统看作是多个串联系统的并联。

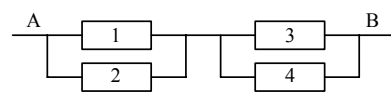


图 4 串并混合系统

$$A_{AB} = (A_1 + A_2 - A_1 A_2)(A_3 + A_4 - A_3 A_4) \quad (7)$$

$$U_{AB} = 1 - A_{AB}$$

3 可用性模型的验证

我国各电信运营商的一级干线一般都采用自愈环网保护方式,在实际应用中多采用 MS_SRPING。MS_SPRING 利用时隙交换技术,一条光纤同时承载工作通路和保护通路,另一条光纤上同时承载工作通路和保护通路,每条光纤上一半通路规定载送工作通路,另一半通路载送保护通路。载一条光纤上的工作通路,由沿环的相反方向的另一条光纤上的保护通路来保护。反之亦然。运营商事先和客户签订服务等级协定,为客户提供满足一定可用性的业务通路。为了评估此条业务路由的可用性,需要计算可用度 A。下面讨论在采用二纤双向复用段共享保护环方式下,SDH 传送网的业务路由的可用性分析,验证基于业务的分析模型的可操作性。如图 5 所示,为客户建立一条从端点 S - 端点 E 的业务通路。选择工作通路:经过 SDH 环 1 的节点 A - B,再转接至 SDH 环 2 的节点 B - C。对应的保护通路是:环 1 的节点 A - D - E - F - B,环 2 的节点 B - G - H - I - J - C。在服务等级协定中,运营商向客户承诺该业务路由的可用度大于 99.5%。

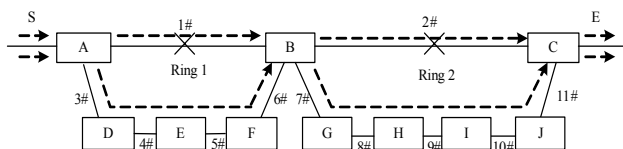


图 5 工作路由和保护路由

此条业务路由的可用度为:

$$A = A_{SDH-1} A_{SDH-2}$$

$$A_{SDH-1} = A_{工作通路} + A_{保护通路} - A_{工作通路} A_{保护通路}$$

$$A_{SDH-2} = A_{工作通路} + A_{保护通路} - A_{工作通路} A_{保护通路}$$

表 1 列出了 SDH 环 1、SDH 环 2 的复用段线路信息、在一年内的故障次数,根据式(2)可以计算出相应的平均故障间隔时间 MTBF 值。

表 1 平均故障间隔时间(MTBF)

SDH	复用段	故障数	MTBF(h)
环 1	1 #	2	4 380
	3 #	4	2 190
	4 #	2	4 380
	5 #	5	1 752
	6 #	3	2 920
环 2	2 #	4	2 190
	7 #	2	4 380
	8 #	2	4 380
	9 #	2	4 380
	10 #	3	2 920
	11 #	3	2 920

表 2 列出了每段复用段线路具体的故障修复时间列表。

选取加权值 α_i 定义在 8:00—20:00 发生的故障 $\alpha_1 = 2$, 在 20:00—24:00 发生的故障 $\alpha_2 = 0.8$, 在 0:00—7:00 发生的故障 $\alpha_3 = 0.2$ 。根据式(3)可以计算出相应的平均故障修复时间 MTTR 值。

表 2 平均故障修复时间(MTTR)

复用段	故障数	故障待通时间(h)	α_i	MTTR(h)
1 #	1	9:00 - 10:30	2	3.4
	2	20:30 - 21:00	0.8	
2 #	1	8:20 - 10:20	2	11.1
	2	22:30 - 23:00	0.8	
	3	14:15 - 17:30	2	
	4	02:40 - 03:40	0.2	

根据式(1)可计算出每段复用段线路的可用度 A 值,如表 3 所示。端点 S - 端点 D 业务通路的可用度 A 等于 $A = 99.98\% > 99.5\%$ 。

表 3 复用段可用性 A(Availability)

SDH	复用段	MTBF(h)	MTTR(h)	A
环 1	1 #	4 380	3.4	99.92%
	3 #	2 190	12.8	99.42%
	4 #	4 380	4	99.91%
	5 #	1 752	20	98.87%
	6 #	2 920	9.6	99.67%
环 2	2 #	2 190	11.1	99.50%
	7 #	4 380	5	99.89%
	8 #	4 380	9.6	99.78%
	9 #	4 380	2	99.95%
	10 #	2 920	15.4	99.48%
	11 #	2 920	12.8	99.56%

根据计算此条业务的可用度已经达到服务指标,可以为客户提供高可用性的网络服务。

4 结论

SDH 传送网是运营商的基础网络,网络的可用性直接关系到各项业务的服务质量。尤其是现在传输容量越来越大,一旦出现传输业务阻断,将造成巨大的经济损失和负面的社会影响。

本文系统地分析了 SDH 传送网络可用性研究的模型和计算方法,在实际网络运行中有一定的可操作性。SDH 传送网络可用性的研究成果,可以为大客户和运营商提供业务指导作用。大客户可以参照网络可用性参数决定选择提供更好服务质量的运营商的网络服务。而运营商可以根据网络可靠性及时调整故障现场维护人员的比例,对于事故多发地段多加派人手,将故障阻断的业务时间降低到最低。同时,运营商可以根据不同传送系统承载的业务多少和重要性,及时抢修对业务影响大的故障地段,避免系统开环后造成的业务丢失。备品备件系统也是网络管理系统中的一个重要部分,分析由设备故障引起的业务中断的概率,运营商可以合理地对各设备备件进行合理调度和及时储备,确保在设备出故障时有充足的应急备盘。

参考文献

- 1 Cankaya H C, Nair V S S. Reliability and Availability Evaluation of Self-healing SONET Mesh Networks[C]//Proc. of Globecom'97, 1997-11: 252-256.
- 2 Chan C K, Tortorella M. Spares-inventory Sizing for End-to-End Service Availability, Reliability and Maintainability Symposium[C]//Proc. of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, New York, 2001: 98-102.
- 3 Antonopoulos A, O'Reilly J J, Lane P. A Framework for the Availability Assessment of SDH Transport Networks, Computers and Communications[C]//Proc. of the 2nd IEEE Symposium on Computers and Communications, 1997-07: 666-670.
- 4 Rados I, Sunaric T, Turalija P. Availability Comparison of Different Protection Mechanisms in SDH Ring Network, Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science[C]//Proc. of the International Conference, 2002-02: 287-290.
- 5 Clouqueur M, Grover W D. Availability Analysis of Span-restorable Mesh Networks, Selected Areas in Communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20(4): 810-821.