

SDH 自愈环生存性定量分析

皇甫伟, 容 鹏, 曾烈光

(清华大学电子工程系微波与数字通信技术国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要: 本文首先提出了网络生存性指标的概念, 并对基于 SDH 自愈环拓扑结构的网络在灾害条件下的网络生存性进行了定量研究. 文中分析了不同的业务分布条件对网络生存性指标的影响, 以及灾害强度和网络生存性的关系.

关键词: 同步数字序列; 自愈环; 网络生存性

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 11-1558-03

Approaches to Quantitative Analysis of Survivability for SDH Self-Healing Ring Network

HUANGFU Wei, RONG Peng, ZENG Lie-guang

(State Key Laboratory on Microwave and Digital Communication, Dept. of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The definition of network survivability is presented. Then, the network survivability of SDH self-healing ring network under links failure is quantitatively analyzed. The relation between traffic distribution and network survivability and the effect of disaster on network survivability are studied.

Key words: SDH; SHR; Network survivability

1 引言

随着大容量的光纤传输系统和的高速数字交换技术的应用, 使得越来越多的业务集中到较少的节点和线路上. 通信网络对现代社会是至关重要的, 高速网络中的故障将导致大量连接和数据丢失, 对关键数据 (如银行业务) 的影响则是不可估量的. 网络的可靠性从不同角度上有不同的评价指标, 其中包括网络的抗毁性 (Invulnerability), 有效性 (Availability), 生存性 (Survivability) 等. 抗毁性描述破坏一个通信网络的困难程度, 有效性研究网络业务服务质量的可靠性测度. 网络的生存性主要研究通信网在随机破坏作用下网络的可靠性, 包括遭攻击后的网络的残余通信能力和损失程度. 网络生存性和网络的拓扑结构, 业务分布, 业务的损失代价有关.

不同学者对于通信网络的生存性定量指标有不同的看法^[1~6]. 本文采用了文献^[1]的观点, 网络生存性指标定义为网络节点或/和链路以一定概率失效的条件下, 通信网可完成的通信量 (残余通信能力) 占正常工作条件下通信业务的比重.

为了增加网络可靠性, 在网络中需要引入冗余设备以及冗余线路. SDH 自愈环 (SHR)^[7~8] 是典型的利用冗余线路的网络结构. SHR 的应用非常广泛, 对其生存性的研究是很有意义的. 一般来说节点 (设备) 的故障容易修复, 链路 (光纤线路) 的故障难以定位和修复. 文中主要考虑链路故障对网络业务的影响.

2 典型业务分布条件下 SDH 自愈环的生存性定量分析

生存性和网络的业务分布有关. 典型的 SHR 业务分布有三种类型: 均匀型, 相邻型和集中型. 均匀型分布是指业务分布在任意两个节点之间, 且各个节点之间的业务量分布大致相当, 长途网的业务量往往趋近这种分布. 相邻型分布是指业务量主要集中在相邻节点之间, 某些中继网的汇接局之间的业务量趋近这种分布. 集中型分布是指业务量分布主要集中于一个特殊节点. 如汇接局或端局, 接入网的业务分布通常如此. 尽管实际的业务量分布是上述分布类型的混合形式, 并随时间及其他因素而变化, 对典型业务分布的生存性分析仍然是研究 SHR 生存性的基础.

SDH 自愈环有不同的类型, 但均具备自动保护切换的能力, 任何一段链路发生故障时不影响网络的正常工作. 当网络出现多段故障时, 连通的网络节点间仍然可以进行正常的通信, 但是连通块之间的业务被切断了.

考虑自愈环结构如图 1 所示. 该自愈环包括 N 个节点和 N 段链路. 节点以 $1 \sim N$ 标识, 链路以 $L_1 \sim L_n$ 标识. 假定所有

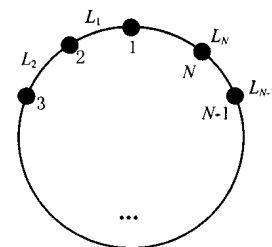


图 1 SDH 自愈环模型

的链路等概率的出现故障. 正常条件环路总业务量记为 $C(0)$, m 段链路故障条件下业务量记为 $C(m)$. 由于故障位置的随机性, $C(m)$ 是随机变量. 记 $\overline{C(m)} = E\{C(m)\}$ 为 $C(m)$ 的数学期望. 则网络的生存性定义为:

$$S(m) = \overline{C(m)} / C(0) \quad (1)$$

因为环网的自愈特性, 任意一段链路的故障不会影响网络的通信, $C(1) = C(0)$. 故下面总是假定在 N 段链路中有 m 段 ($m \geq 2$) 链路出现了故障.

考虑相邻型业务分布. 业务分布在相邻节点, 即 $(1, 2)$, $(2, 3)$, $\dots$, $(N-1, N)$, $(N, 1)$ 之间. 假设节点对之间业务量相同, 均为一个单位, 因此总的业务量为 $C(0) = N$. 当 m 段 ($m \geq 2$) 链路出现故障时, 由于业务只发生在相邻节点间, 因此, 损失的总业务量为 m , 残余通信能力为 $C(m) = N - m$, 按式 (1) 网络生存性为:

$$S(m) = \frac{\overline{C(m)}}{C(0)} = 1 - m/N \quad (2)$$

考虑集中型业务分布, 以节点 1 为枢纽节点. 业务分布在节点 1 和其他节点之间, 即 $(1, 2)$, $(1, 3)$, $\dots$, $(1, N)$, 仍然假设节点对间的业务量均为一个单位, 则总的业务量 $C(0) = N - 1$. 当 m 段 ($m \geq 2$) 链路出现故障时, 残余通信能力取决于离节点 1 最近的故障链路位置. 令节点 1 两侧最近的故障位置分别为链路 L_i 和链路 L_j ($j > i$). 因此, 在故障条件下仍然可以和节点 1 通信的节点数目为 $N - 1 - (j - i)$, 即 $C(m) = N - j + i - 1$.

N 段链路中出现 m 段链路故障的可能方式数为 C_N^m . 其中满足 $C(m) = k$ 的方式数可以这样确定, 固定 L_i ($1 \leq i \leq k + 1$), 因 $k = N - j + i - 1$, L_j 因此可以确定. 在 L_i 到 L_j 之间的 $j - i - 1 = N - k - 2$ 段链路中有 $m - 2$ 段出现故障. 因此:

$$P\{C(m) = k\} = \frac{(k+1) C_{N-2-k}^{m-2}}{C_N^m}, 0 \leq k \leq N - m$$

所以:

$$\begin{aligned} \overline{C(m)} &= \sum_{k=0}^{N-m} P\{C(m) = k\} \cdot k = \frac{2(N-m)}{m+1} \\ S(m) &= \frac{\overline{C(m)}}{C(0)} = \frac{2(N-m)}{(m+1)(N-1)} \end{aligned} \quad (3)$$

对于均匀型业务, 业务分布在任意两个节点对之间, 因此总业务量为:

$$C(0) = \frac{N(N-1)}{2}$$

当 m 段 ($m \geq 2$) 链路出现故障时, 网络分成 m 个连通块, 设每个连通块包含的节点数目为 $N_1, N_2, \dots, N_m$, 则在此时的故障情形下可以完成的通信业务为:

$$C(m) = \sum_{i=1}^m \frac{N_i(N_i-1)}{2}$$

首先固定环路的绕行方向和某故障链路 L_i , 假设沿固定绕行方向下一个出现故障的链路是 L_j , L_i 和 L_j 之间正常工作的节点数目为 k , 即这 k 个节点构成一个连通块, 它们之间的通信量为 $k(k-1)/2$, 剩余 $m-2$ 段故障链路出现在剩余的 $N-k-1$ 段链路中, 故此情况出现的种数为 C_{N-k-1}^{m-2} . 令 L_i, k 取遍所有可能的情况, 累计的连通块通信量之和即为所有的

m 段链路故障条件下的总通信量. m 段链路故障有 C_N^m 种不同的方式, 故在 m 段链路出现故障时的网络残余通信能力和生存性为:

$$\begin{aligned} \overline{C(m)} &= \frac{N \sum_{k=0}^{N-m+1} C_{N-k-1}^{m-2} \frac{k(k-1)}{2}}{C_N^m} = \frac{N(N-m)}{m+1} \\ S(m) &= \frac{\overline{C(m)}}{C(0)} = \frac{2(N-m)}{(m+1)(N-1)} \end{aligned} \quad (4)$$

注意到, 均匀型业务分布可以看作对称的 N 个集中型业务分布的叠加, 因此均匀型和集中型业务分布的生存性函数是相同的, 这和计算得到的结论一致.

3 灾害强度对网络生存性的影响分析

考虑灾害强度与链路出现故障的概率之间的关系. 对于随机作用的灾害 (如恶劣的天气, 地震等) 而言, 设灾害均匀作用在链路上. 链路长度为 L , 将链路分成非常小的段, 当分段长度 ΔL 非常小时, 通常可以认为长度 ΔL 上出现故障的概率为:

$$P_f(\Delta L) = \lambda \Delta L$$

故整个链路出现故障的概率为:

$$P_f(L) = \lim_{\Delta L \rightarrow 0} (1 - (1 - \lambda \Delta L)^{L/\Delta L}) = 1 - e^{-\lambda L} \quad (5)$$

式 (5) 为灾害强度和单个链路出现故障概率的关系. 不妨设 N 段链路长度均为 $L = 1$, 记 $p = e^{-\lambda}$ 为灾害情况下链路正常工作的概率. 则当灾害发生时, 出现故障的链路数目 m 服从分布:

$$P\{m = i\} = C_N^i (1-p)^i p^{N-i}, \text{ 其中 } p = e^{-\lambda} = e^{-\lambda}$$

设在灾害强度为 λ 时, 网络平均生存性为 $S_u(\lambda)$. 则

$$\begin{aligned} S_u(\lambda) &= E\{S(m)\} = \sum_i S(i) P\{m = i\} = P\{m = 0\} + P\{m = 1\} + \sum_{i=2}^N P\{m = i\} S(i) \end{aligned} \quad (6)$$

对于相邻型业务分布由式 (2) 及式 (6) 得:

$$S_u(\lambda) = p + p^{N-1} - p^N \quad (7)$$

类似的对于集中型和均匀型分布, 有:

$$S_u(\lambda) = \frac{2p - 2(1-p)^N p - (N+1)p^N + (N-1)p^{N+1}}{(N-1)(1-p)} \quad (8)$$

相邻形业务条件下, 灾害强度对网络生存性的影响曲线见图 2. 图中 $N = 16$. (注: $N > 8$ 时, N 的取值对曲线影响非常小, 因此图 2 只表示了 $N = 16$ 的情况). 集中型或均匀型业务分布条件下, 灾害强度对网络生存性的影响曲线见图 3. 由上而下, 曲线分别代表 $N = 8$ (实线), $N = 12$ (虚线), $N = 16$ (长划线) 的三种情况.

图 2 和图 3 表明, 灾害强度增加导致网络生存性下降. 在同样的灾害条件下, 相邻型业务条件的生存性几乎不受节点数的影响, 对集中型或均匀型业务分布条件而言, 节点多的 SDH 自愈环的生存性较差.

图 4 比较了相同节点数 ($N = 16$) 的 SHR 在不同业务分布类型下生存性的比较. 图中实线代表相邻型业务分布, 虚线代表集中型及均匀形业务分布. 在相同的灾害强度下, 集中型和均匀型业务分布的 SDH 自愈环的生存性指标低于相邻形业

务分布条件,原因是集中型业务和均匀型业务分布下,业务可能更大.要跨过多个链路传送.因此,链路的故障对网络生存性影响

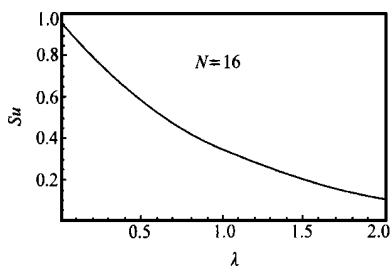


图2 相邻型业务条件下的灾害强度和网络生存性

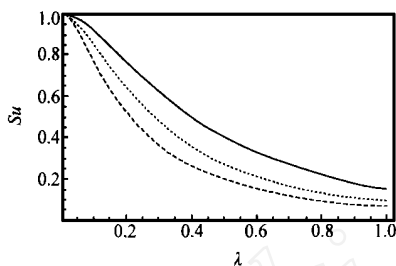


图3 集中/均匀型业务条件下的网络生存性

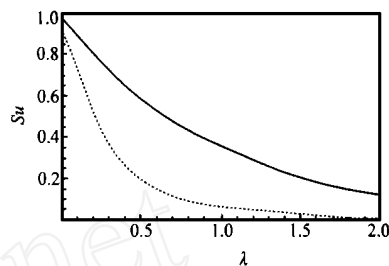


图4 不同业务分布条件下的网络生存性比较

4 结论

本文定义的网络生存性的概念为网络故障条件下通信量占正常工作条件下通信量的比重.按照这种观点,网络的生存性将受灾害强度,网络拓扑,网络业务分布影响.本文定量分析了 SDH 自愈环(特定拓扑)条件下不同业务分布类型的网络生存性,以及网络生存性和灾害强度之间的关系.

对网络生存性的研究有着重要的意义,同时也是一个新的研究领域.对于节点故障以及节点/链路混合故障条件下自愈环的生存性,或者对于一般拓扑结构下网络的生存性有待于进一步的研究.

参考文献:

- [1] 隆克平,等. SDH/ATM 双向自愈环的生存性定量分析方法[J]. 电子学报,1999,27(4):15-18.
- [2] 郭伟. 野战地域通信网可靠性的评价方法[J]. 电子学报,2000,28(1):3-6.
- [3] 陈国龙,宁正元. 网络可靠性评估的一种新方法[J]. 计算机应用研究,1999,(8):38-39.
- [4] 刘克胜,张维明. 通讯网可靠性指标系统分析与综合评估研究[J]. 计算机应用研究,1999,(12):7-10.
- [5] 王东霞,龚文华,周兴铭. 高速网络的生存性[J]. 计算机工程与科学,1999,21(5):5-8.
- [6] 隆克平,金跃辉,程时端. 多层宽带网络生存性及其综合控制策略[J]. 数字通信,2000,(1):1-4.
- [7] 韦乐平. 光同步数字传送网(第二版)[M]. 北京:人民邮电出版社,1998.12.

- [8] 苏驷希,冀胜华,张惠民. SDH 网状网自愈[J]. 电子学报,2000,28(4):36-39.

作者简介:



皇甫伟 男. 1975 年生于河南省开封市. 清华大学电子工程系微波与数字通信技术国家重点实验室博士研究生. 1996 年毕业于西安交通大学信息与控制工程系. 主要研究方向: SDH/ATM 网络组网技术研究及专用芯片设计.



容 鹏 男. 1976 年生于湖北省武汉市. 清华大学电子工程系微波与数字通信技术国家重点实验室博士研究生. 1998 年毕业于清华大学电子工程系, 目前主要研究 SDH 交叉连接技术和相应专用芯片实现.

曾烈光 1947 年生于四川省南部县. 清华大学电子工程系教授, 博士生导师. 1970 年毕业于清华大学电子系, 同年留校任教. 现任中国电子学会通信学会委员、中国电子学会通信学会光通信学组副主任委员. 主要从事 SDH 技术和高速网络的研究.