

SDH 单向复用段自愈环的研究¹

伍 翔 王一超 冯重熙
(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘 要 该文介绍了同步数字体系 (SDH) 自愈环, 描述了二纤单向复用段自愈环的结构, 对比了它的两种自动保护倒换 (APS) 方法, 从降低分插复用器 (ADM) 设备的成本, 自愈网上的定时方式和网元工作模式三方面对二纤单向复用段自愈环进行了分析。

关键词 同步数字体系, 自愈环, 自动保护倒换, 分插复用器, 定时

中图分类号 TN919.3

1 引 言

在高速光纤网中, 由于业务的集中, 网络的生存能力显得十分重要, 对于用于接入网的自愈网络, 研究其经济性与有效性一直是一个重要的问题。

在共享带宽和提高自愈能力方面, 环型网络对于接入网是比较经济有效的。线型拓扑结构只能对连接失效进行保护, 而环形结构不但可以对连接失效进行保护, 还能够对节点失效进行保护。和网状结构相比, 它又具有简单、灵活以及自愈速度快 (小于 50ms) 等优点。所以得到了广泛的应用。

SDH 标准的制定, 特别是分插复用器 (ADM, Add and Drop Multiplexer) 设备的出现为设计高效的光纤自愈环提供了很好的条件。SDH 的每一个层次都提供了不同的开销用于网络性能的监视和传递操作维护信息。而 ADM 设备的双向传输能力很好地支持了各种自愈环的组成。

SDH 自愈环按结构可以分为单向自愈环和双向自愈环; 按光纤数量可以分为二纤环和四纤环; 按保护倒换发生的层次可分为复用段保护环和通道保护环。在各种自愈环中, 二纤单向复用段自愈环成本低、控制简单, 得到了广泛的应用。但是, 直到最新的 ITU-T 建议仍然没有对它的自愈方法作出规定, 设计上具有很大的灵活性, 本文将针对该问题进行讨论。如未经特别说明, 本文所提到的自愈环都是指二纤单向复用段自愈环。

2 二纤单向复用段自愈环结构及自愈方法

2.1 自愈环结构

二纤单向复用段自愈环使用两根光纤, 一根为工作光纤, 另一根为保护光纤。它们连接每个节点上的 ADM 设备, 分别构成了主环和备环。如图 1 所示。

这种环形结构中, 每个节点在信号进入分插功能前的每一路线路上都有一保护倒换开关。正常情况下, 低速支路信号只从主环上进行分插, 备环是空闲的。

当光缆被切断时, 与光缆切断点相邻的两个节点的保护倒换开关将利用自动保护倒换 (APS) 协议执行环回功能。此时, 信号必须通过备环才能传输到目的节点。故障排除后, 开关返回原来的位置。

2.2 两种 APS 方法比较

第 1 种方法沿袭了 SDH 标准中 1:N(N=1)APS 的做法。如图 2 所示。

¹ 2000-04-01 收到, 2000-09-18 定稿
国家自然科学基金资助项目

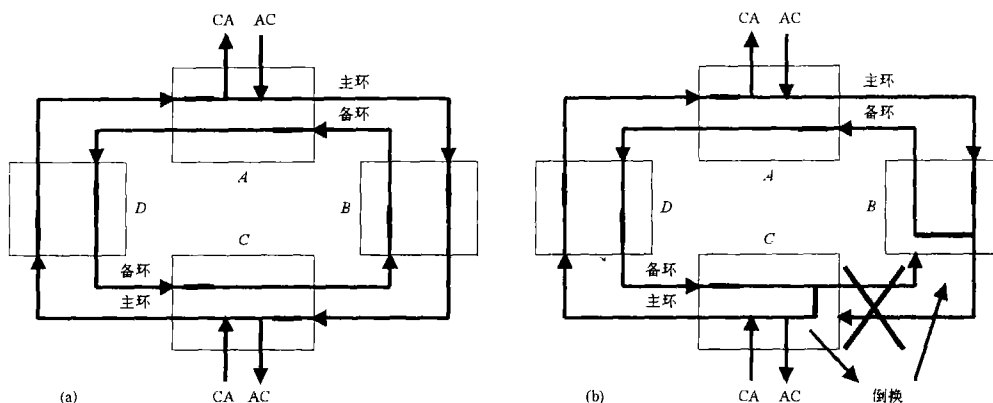


图 1 二纤单向复用段自愈环

如图 2(a) 所示, 当节点 B 检测到失效发生后, 将通过链路 d 发出 K_1 字节将倒换请求发给 A 节点, A 节点收到 K_1 字节指示之后将来自 b 链路的输入倒换到 c 链路, 同时通过 c 链路发出 K_1 和 K_2 字节指示. B 节点收到 K_2 字节指示后就将来自 c 链路的输入倒换到 b 链路, 完成倒换.

作为对比, 图 2(b) 示意了 SDH 1:N(N=1)APS 方法, 工作链路为 a' 和 b' , 保护链路为 c' 和 d' , 与图 2(a) 中的 a, b, c, d 链路相对应. 它和前面所述的自愈方法基本上一致, 只是此时 K_1K_2 指示可以直接发送到 B' 节点, 而在环网 APS 中, 该指示需要跨越多个中间节点, 如图 2(a) 中跨越 C 节点, 所以 K_2 字节必须作相应的改动才能适应环网应用. 一般采用的办法是每个节点对 K_2 字节进行匹配, 以确定该指示是发给哪一个节点的.

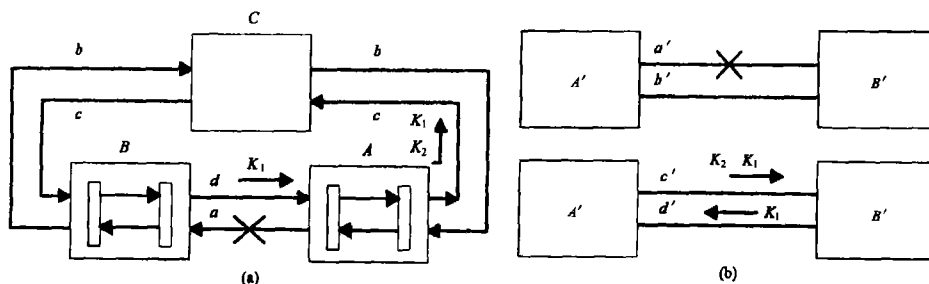


图 2 (a) 第 1 种自愈环 APS 方法 (b) SDH 1:N(N=1)APS 方法

作者认为第 1 种二纤单向复用段自愈环 APS 方法有一些缺点. 首先由于 K_1K_2 字节要跨越全网才能完成自愈, 每一个节点都要对 K_1K_2 字节进行处理, 这造成了自愈速度变慢. 其次在环网断开 (网络为链型) 的情况下 (假设 A 和 C 之间无连接), 网络发生故障, 不存在像环网自愈这样可以跨越全网传送 K_1K_2 的路由, 这将造成 B 不会倒换, 从而影响业务. 最后, 由于每个节点都要分配一个 K_2 的匹配标识, 使环网上可以连接的节点数受到限制.

第 2 种方法如图 3 所示. 节点 B 检测到失效发生后, 自动进行保护倒换, 同时通过链路 d 向 A 节点发出 K_1 字节指示, A 接收到 K_1 指示后进行保护倒换. 这种方法不同于 SDH 标准中 1:N(N=1)APS 的做法. K_1K_2 字节的指示信息传送无须跨越全网, 可以避免第一种方法带来的问题, 本文讨论的自愈环采用第 2 种方法.

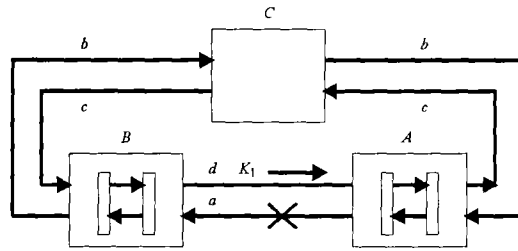


图 3 第 2 种自愈环 APS 方法

3 二纤单向复用段自愈环关键问题分析

3.1 降低 ADM 设备的成本

ADM 设备是构成自愈环的基本网元,也是构成自愈环成本的重要因素。ADM 设备的设计应该和网络结构联系起来,充分利用网络的特点,才能在满足网络性能要求的情况下降低 ADM 设备的成本。

一种典型的 ADM 设备的结构如图 4 所示。其中 OHT(OverHead Terminator) 为段开销终结模块,在接收侧对段开销进行处理,在发送侧则将设备产生的段开销发送出去。MAPPER 为映射模块,从 STM-N(Synchronous Transport Module) 信号中取出支路信号或将支路信号加入 STM-N 信号的相应时隙中。从网络的角度上看,这种方式相当于在主环和备环上是可以同时上下支路的。

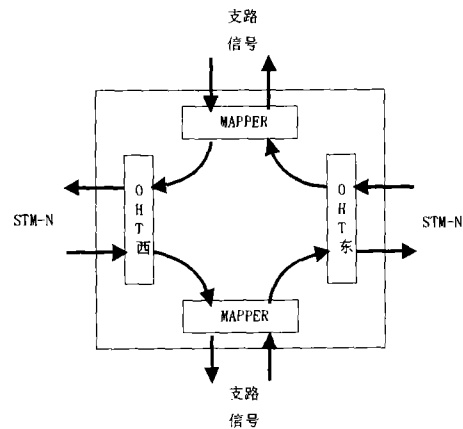
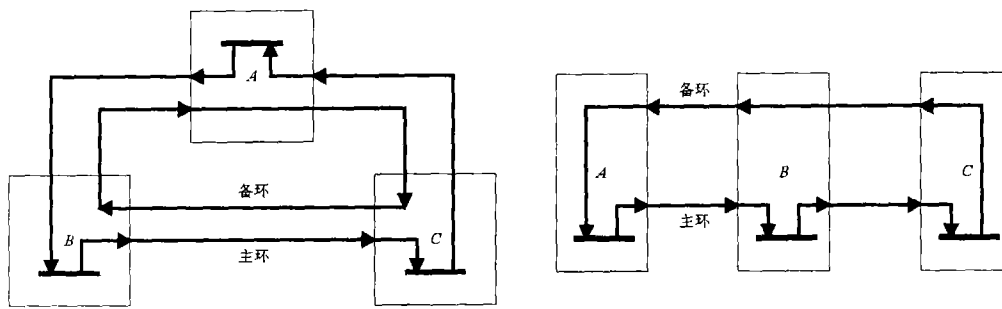


图 4 典型的 ADM 设备结构

从图 5(图中粗实线表示映射模块 MAPPER) 可以看出,对二纤单向复用段自愈环来说,实际上每个节点不会同时使用两个映射模块。在正常情况下,如图 5(a),备环用于传送管理和维护用的段开销字节;自愈时传送 K_1 字节;在自愈情况下,如图 5(b),备环使全网构成一个通路,保证各节点能够通信,此时发生保护倒换操作的节点需要将业务信息送到备环或从备环取得业务信息。所以,利用这个特点设计网元,自愈环的每个节点只用一个映射模块,将大大降低整个网络的成本。经过改进适用于二纤单向复用段自愈环的 ADM 设备如图 6 所示。图 6 中加入了一个控制逻辑,它的功能是控制 ADM 设备在图 5 所示的各种状态之间转变。软件通过操作该控制逻辑来完成映射模块使用状况的改变以及网络自愈时的保护倒换。



(a) 自愈前

(b) 自愈后

图 5 自愈前后映射模块使用情况

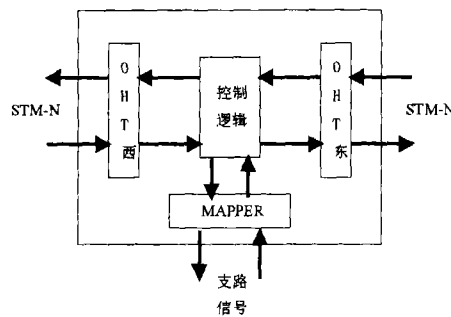


图 6 改进后的 ADM 设备结构

3.2 定时方式的选择

(1) SDH 网络单元的定时 SDH 定时源分为：外同步定时源；内部定时源；从接收信号中提取的定时。

其中从接收信号中提取定时又可以分为以下几种方式 (图 7)：

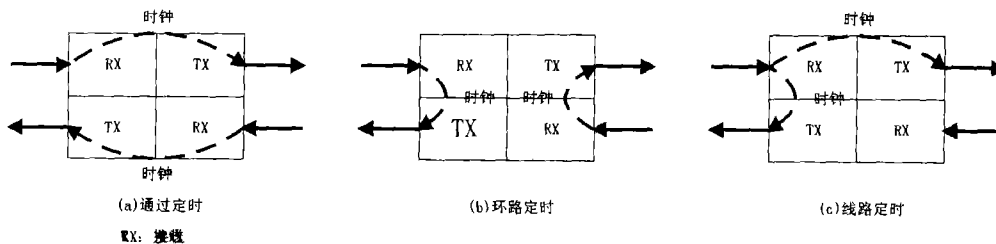


图 7 从接收信号中提取定时

通过定时：网络单元由同方向终结的输入 STM-N 信号中提取定时信号，并由此再对网络单元的发送时钟的定时进行同步。

环路定时：网络单元的每个发送 STM-N 信号都由相应的输入 STM-N 信号中所提取的定时来同步。

线路定时：像 ADM 这样的网络单元中，所有发送的 STM-N/M 信号的定时都是由某一特定输入的 STM-N 信号中提取的。

(2) 自愈环采用的定时方案 自愈环采用主从定时模式。网络上有一个主站, 其余的站为从站。主站采用外同步定时或内部定时, 主站输出的线路信号为从站提供定时基准。从站采用从接收信号中提取定时的方法, 使整个网络和主站同步。

如图 8 所示, 在环网情况下, 主站向两个方向发出的信号同步, 都可以作为定时基准。此时每个从站从两个方向上收到的信号是同步的, 所以从站既可以采用通过定时, 又可以采用线路定时。

由于某种原因, D, E 站之间两条光纤均断开, 环型网发生第一种单点故障 (如图 9 所示), D, E 站自动变为环路定时。如果 B, C, F, G, H 站采用通过定时, 则网络可以正常工作。如果它们采用线路定时, 则会因为无法分辨哪一侧收到的信号可以用来定时, 若强行指定, 就可能造成定时形成自激振荡环路。

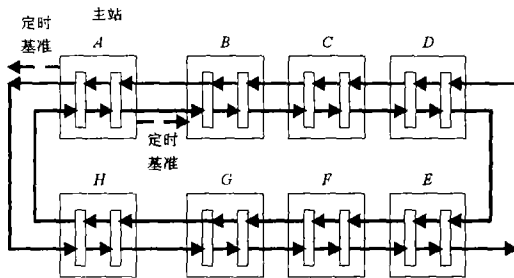


图 8 环网定时

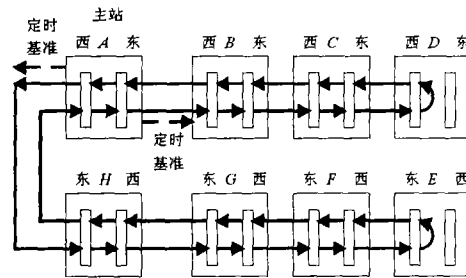


图 9 第一种单点故障定时

例如指定从东侧收到的信号中提取定时, 则 C, D 站形成的定时振荡环路如图 10 中的虚线所示。

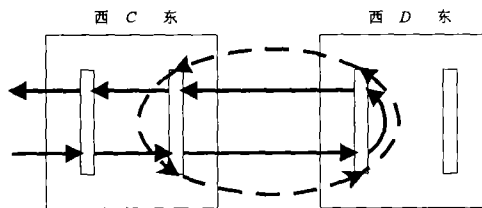


图 10 定时振荡环路

定时的自激振荡的原因是振荡环上实际上没有定时基准。

当自愈环单根光纤断裂, 发生如图 11 所示的第 2 种单点故障时, K_1 的发送可以采用本地定时, 也可以采用从接收信号 (F 站西收) 中提取的定时信息。但当网络发生如图 12 所示的多点故障时, 只能采用本地定时发送 K_1 , 因为此时来自线路的信号 (F 站西收) 的定时是没有钟源的。又因为含有 K_1 自愈指示的信号不会用来为业务信号提供定时 (如 G 站采用环路定时), 所以, 对自愈指示 K_1 的发送可以统一采用本地定时, 如图 11、图 12 中 F 站的东发。

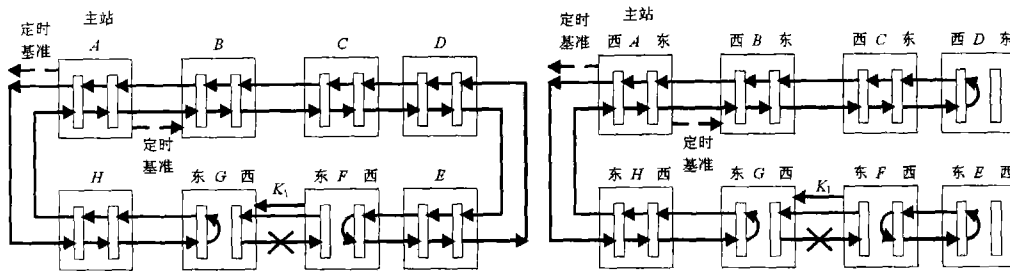


图 11 第 2 种单点故障定时

图 12 多点故障定时

3.3 工作模式的选择

由于 SDH 设备能够直接从 STM-N 信号中取得需要的支路信号，所以 SDH 网上的节点无须都对 STM-N 信号进行终结，然后再产生一个新的 STM-N 信号，而只是对收到的 STM-N 帧上下支路信号和对开销字节进行终结。但网上必须有节点终结 STM-N 帧，否则网络上的帧没有源头。

在自愈环中，可以用主站对 STM-N 帧进行终结。主环上为一个完整的帧结构，备环上是一个没有业务，只有段开销的帧结构。其余站可以对主站产生的帧进行上下支路的处理。正常情况下，主站工作于终结模式，从站工作于上下支路模式。

自愈发生时，为了正确传送 K_1 自愈指示，如图 12 中 F 站的东发，也要自己产生一个帧发送出去。此时 F 站的东侧也工作于终结模式，F 站的西侧工作模式保持不变。

3.4 自愈时间

在 SDH 自愈环中，快速自愈是一个重要的问题。在 G.841 中，ITU-T 定义了网络的一般目标。端到端的切换时间应该在检测到错误后的 50ms 之内，前提条件是没有先前的倒换请求，并且光纤的长度小于 1200km，倒换完成时间表示了从检测到故障直到有效地恢复业务的时间。

如图 3 所示，B 检测到故障后，一方面进行倒换，另一方面产生 K_1 倒换指示。 K_1 经过一定的传输延时到达 A，连续 3 帧相同的 K_1 后， K_1 被 A 接受，进入 K_1 字节的软件处理和环回倒换控制。

作者通过自行开发的 155Mbit/s 的 SDH ADM 设备组成的 8 个节点的环网进行实验。实验表明，当两个自愈节点同时动作时，自愈时间小于 10ms。也就是说，自愈花在网元同步上的时间很少。

在实验中，我们将每个节点的同步帧数设为 7 帧。SDH 每帧为 $125\mu s$ 。这样每个节点的同步需要 $875\mu s$ ，8 个节点共需 7ms。可见，实验结果是合理的。

但是，在实际的网络中，两个节点同时倒换的机会是很少的。在图 3 中，B 节点先倒换，然后才是 A 节点的倒换。中间需要经过 K_1 字节的发送、传输和接收，以及 A 节点对 K_1 字节指示的响应。

K_1 字节的发送，和 B 节点倒换同时发生。接收需要连续 3 帧 K_1 一致，需要 $375\mu s$ 。 K_1 的传输需要的时间也是微秒量级。所以， K_1 字节的发送、传输和接收占用的时间是很小的。

通过以上的分析可以看到，能否达到 50ms 的时间要求主要取决于软件处理时间。在倒换发起端，对检测到的故障处理要快。在被 K_1 指示倒换的的节点，对 K_1 指示处理的优先级也要非常高。由于软件处理的速度比硬件要慢一些，如果要求网络上每一个节点都进行软件处理，那么对微处理器的要求将会很高。在本文采用的方法中，避免了网络上的每一个节点都进行软件处理，自愈时间的关键仅仅在两个自愈节点的软件处理速度。这就降低了对网元上的微处理器的要求，从而降低了成本，也降低了软件编制的难度。作者采用了一般的 80C32 处理器和中断方式就达到了指标。

4 结 束 语

本文首先介绍了自愈环在 SDH 网络中的重要性以及自愈环的分类, 然后描述了二纤单向复用段自愈环结构, 并对两种二纤单向复用段自愈环的自愈方法的对比, 提出了自己的看法。最后, 作者根据自己实际工作中遇到并解决的问题, 从降低 ADM 网元成本, 定时方式的选择, 工作模式以及自愈时间等几个方面分析了二纤单向复用段自愈环中的一些关键问题。本文谈到的问题都已经在作者设计的网络中得到证实。

参 考 文 献

- [1] 韦乐平, 光同步数字传输网, 北京, 人民邮电出版社, 1993 年 3 月, 124-136.
- [2] ITU-T Rec. G.841, Types and characteristics of SDH network protection architectures, 1995
- [3] Tsong-Ho Wu, Richard C. Lau, A class of self-healing ring architectures for SONET network applications, IEEE Trans. on Commun., 1992, 40(11), 1746-1756.
- [4] P. Anelli, M. Soto, Evaluation of the APS protocol for SDH rings reconfiguration, IEEE Trans. on Commun., 1999, 47(9), 1386-1393.

RESEARCH OF SDH UNIDIRECTIONAL SHR

Wu Xiang Wang Yichao Feng Zhongxi

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract This paper reviews the SDH SHR, summarily depicts the architecture of U-SHR. Two APS methods of U-SHR are compared. Finally, this paper addresses the problems of lowering the cost of ADM device, timing manners in the U-SHR and working mode of the network element.

Key words Synchronous Digital Hierarchy(SDH), Self-Healing Ring(SHR), Automatic Protection Switching(APS), Add Drop Multiplexer(ADM), Timing

- 伍 翔: 男, 1974 年生, 在读博士生, 研究方向为 SDH、ATM 技术与接入网。
王一超: 男, 1956 年生, 副教授, 研究方向为光通信技术与接入网。
冯重熙: 男, 1930 年生, 教授、博士生导师, 研究方向为光通信技术与接入网。