

Based on SDH E1 Transmission Channel Time Synchronization Accuracy Factors

Jiajia Fu¹, Weijian Li¹, Jianhua Zhang¹, Donghua Zou², Wei Huang³

¹Guangdong Power Grid control centers, Guangzhou

²Qingyuan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Corporation, Qingyuan

³Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing

Email: huangwei@bupt.edu.cn

Received: Nov. 19th, 2013; revised: Dec. 15th, 2013; accepted: Dec. 24th, 2013

Copyright © 2013 Jiajia Fu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Jiajia Fu et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Time synchronization precision based on SDH E1 channel is affected by transmission delay of fiber, sampling error, code-speed adjustment, pointer adjustment and so on. This paper analyzed optical transmission delay and processing delay of devices, and drew a conclusion via explaining a schematic diagram of the sampling error and the case. Comparing the difference of two fixed thresholds, we determine the relationship between literacy and time code rate adjustment which will bring changes. Furthermore, we analyze the pointer processor based on “threshold” to decide and adjust the output pointer to give the proposal planning and the matters that need attention.

Keywords: Time Synchronization; Delay; E1 Channel; Pointer Adjustment

基于 SDH E1 信道时间同步传输精度影响因素分析

付佳佳¹, 李伟坚¹, 张建华¹, 邹冬超², 黄 魏³

¹广东电网电力调度中心, 广州

²广东电网公司清远供电局, 清远

³北京邮电大学, 北京

Email: huangwei@bupt.edu.cn

收稿日期: 2013 年 11 月 19 日; 修回日期: 2013 年 12 月 15 日; 录用日期: 2013 年 12 月 24 日

摘 要: 基于 SDH E1 信道的的时间同步传输精度受到时延、采样误差、码速调整、指针调整等因素的影响。本文对光缆传输时延和设备处理时延进行了分析, 通过示意图和案例对采样误差进行了解释并得出结论, 通过比较两个固定门限与读写时差的关系确定码速调整将带来时延的变化, 进一步分析了指针处理器根据“门限范围”来决定调整输出指针, 给出了规划的建议和需要注意的事项。

关键词: 时间同步; 时延; E1 信道; 指针调整

1. 引言

在数字化变电站、智能电网的建设中, 电力相关业务对时间同步的精度要求和安全要求也进一步提高, 随着广域业务的发展, 单厂站独立 GPS 时钟系统

的模式, 会受到越来越多的限制。依靠地面传输网络, 构建地面时间同步路径, 可以作为 GPS、北斗等天基同步方式的有益补充, 形成天地互备的时间同步网络格局。

目前传输网中 SDH 占绝大多数, SDH(Synchronous Digital Hierarchy)——同步数字系列是一套可进行同步信息传输、复用、分插和交叉电力系统中连接的标准化数字信号结构等级,在传输媒质上(如光纤、微波等)进行同步信号的传送。构建地面时间同步路径以 SDH E1 业务信道为主要方式。时间协议以 IEEE 1588 V2(PTP)为主。1588v2 对 V1 进行了完善,提高了同步的精度;引入透明时钟 TC 模式,包括 E2E 透明时钟和 P2P 透明时钟,计算中间网络设备引入的驻留时间,从而实现主从间精确时间同步;新增端口间延时测量机制等,通过非对称校正减少了大型网络拓扑中的积聚错误^[1]。

图 1 为基于 SDH E1 信道时间同步传输组网方式示意图。

由图 1 可知基于 SDH E1 信道时间同步传输可以分为五步:

第一步:主站侧将 PTP 信号转换为 E1 信号;第二步:主站侧 E1 信号复用上 STM-1;第三步:SDH 的传输;第四步:从站侧传输设备 STM-1 解复用为 E1 信号;第五步:从 E1 信号中恢复出 PTP 信号;同时,在传输过程中涉及四个时钟点,分别是 A 点时钟 CLK₁、B 点时钟 CLK₂、C 点时钟 CLK₃ 和 D 点时钟 CLK₄。

时间信号(PTP 信号)在图 1 所示的传输过程中,由主站时钟传递到从站时钟会有延迟和抖动漂移的

产生,不加处理的话会直接反映到从站时钟的输出时间信号上。从站时间输出和 UTC 时间差示意图如图 2 所示。

由图 2 可以看出从站时间输出和 UTC 时间差存在两个分量,直流分量就是延迟,变化量就是抖动和漂移。延迟或许会导致很长时间才能将数据包传送到终点,因为它会被漫长的队列迟滞。所有传送系统都有抖动,只要抖动落在规定容差之内就不会影响服务质量。利用缓存可以克服过量的抖动,但这将增加时延,造成其他问题。漂移是任何同步传输系统都有的一个问题。在 SDH 系统中是通过严格的全网分级定时来克服漂移的。在异步系统中,漂移一般不是问题。漂移会造成基群失帧,使服务质量的要求不能满足^[2]。

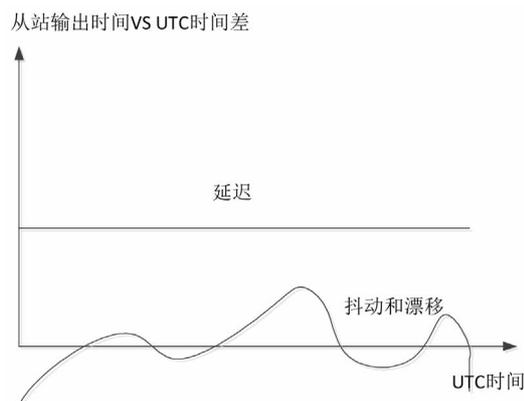


Figure 2. The diagram of the standing time output and UTC time
图 2. 从站时间输出和 UTC 时间差示意图

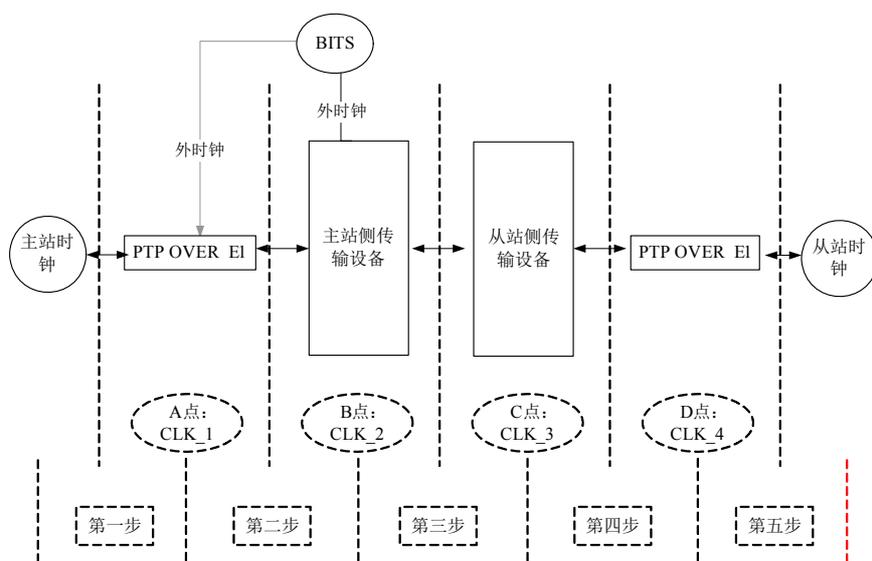


Figure 1. Time synchronization based on SDH E1 channel transmission network mode
图 1. 基于 SDH E1 信道时间同步传输组网方式

这两点关系到从站时钟输出时间的精度，需要加以分析。

2. 延迟分析

延迟是由两部分构成：一是光缆传输时延；二是设备处理时延。

光缆传输时延指信号在 SDH 设备之间光纤中的传输时延。一般来说光纤的传输时延是比较固定的，光缆越长，固定时延越长。光缆时延随着温度变化会产生微小变化，并由此产生相位漂移。每升高或降低 1℃，1KM 的光纤传输时延变化 50 ps。为保障地面时间的传递精度，应尽量选择具备地理光缆的光缆路由。基于以上情况在不发生路由倒换的情况下，一般将光缆传输时延看成固定值。

设备处理时延指协议转换(E1 到 PTP 和 PTP 到 E1)和传输设备在进行支路信号到群里信号和群里信号到支路信号的映射解映射的过程中，都会通过一个内部的缓存来处理数据，缓存的大小就决定了设备的处理时延。这个处理时延为各厂家产品设计所决定，没有一个固定值。但是如果在传输过程中，设备工作正常，同时 A、B、C、D 四点时钟完全同步，设备处理时延是固定的。

3. 抖动和漂移分析

3.1. 采样误差分析

采样误差产生于图 1 中第一步时间码转换为 E1 过程中，它是由于 A 点时钟存在频偏引起的。采样过程图 3 所示。

如图 3 所示， f_0 为 A 点时钟，用 f_0 来进行数据采样时，存在相位时延 P_n ，当 f_0 不存在频偏时， $P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_n$ ，即存在一个固定相位关系。如果

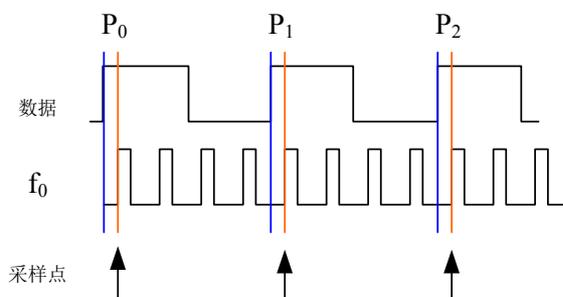


Figure 3. The sampling process diagram
图 3. 采样过程示意图

频偏 df_A 存在，此时 $P_1 \neq P_2 \neq P_3 \neq \dots \neq P_n$ ，并且时延随频偏变化，当时延 P 单向增加到 1UI 或单向减少到 0UI 时，采样时间减少或增加了一个脉冲，使得传输时码的时延产生一个 $1/f_0$ 的跳变(当 $f_0 = 2.048$ Mbit/s 时， $1/f_0 = 488$ ns)。采样误差与 df_A 的关系见图 4。

由以上分析可以得知：

- 1) 采样误差会带来 $1/f_0$ 的抖动，抖动的周期 $T = 1/(f_0 \times df_A)$;
- 2) 当 df_A 为正时，抖动为正方向；当 df_A 为负时，抖动为负方向；
- 3) 设备重新上电后，固定时延 P_1 将随机在 $[0, 1/f_0]$ 区间内取值。

3.2. 码速调整分析

码速调整产生于图 1 中第二步 E1 到 STM-1 映射复用过程中外部 E1 信号到 C-12 虚容器过程中，它也是由于 A 点存在频偏造成的。

在 E1 转换为 C-12 过程中，设备内部有一个缓存来处理输入的 E1 信号。缓存用输入 E1 时钟来写入数据，用 SDH 系统时钟来读出数据，如图 5 所示。

CLK_WR 为缓存数据写入时钟、CLK_RD 为缓存数据读出时钟；PTR_WR 为缓存写入数据指针；PTR_RD 为缓存读出数据指针。PTR_WR 和 PTR_RD 同向移动，用它们之间的距离 H 来表示数据经过缓存带来的时延^[3]。

支路缓冲存储器设置两个固定门限：正调整门限 Z_{min} 和负调整门限 Z_{max} 。由于包装速率 CLK_RD 与支路速率 CLK_WR 都在一定的容差内变化，并且传

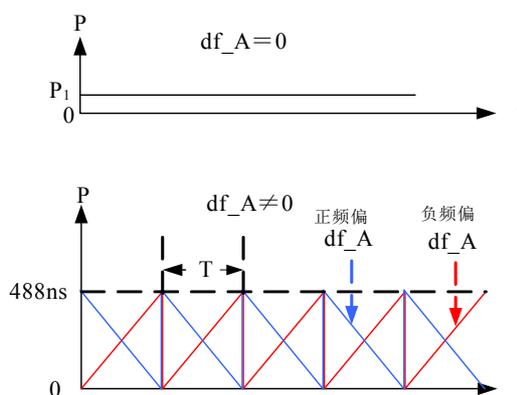


Figure 4. The relationships between Sampling error and df_A
图 4. 采样误差与 df_A 的关系

输时钟各不相同，因此有下列三种情况：读写时差在两门限之间，不做码速调整；读写时差低于正调整门限，要求正调整，即减慢读出时钟，以增大读写时差；读写时差高于负调整门限，要求负调整，即加快读出时钟，以减小读写时差。

由以上分析可以得知：码速调整将带来时延的变化，在不同的频偏 df_{AH} 下，会有不同的 H 值；在相同的频偏 df_{AH} 下，时延固定^[4]。

3.3. 指针调整分析

指针调整产生于图 1 中第三步 SDH 传输过程中，它是由于 B 点与 C 点时钟存在频偏引起的。B 点与 C 点时钟的不同步对时延影响的效果图如图 6 所示。

由图 6 可以看出，当 B 点与 C 点时钟的不同步时，会在从站侧 SDH 设备处产生 AU 指针调整，AU 指针调整会引起时延在 T 周期内变化 $0.16\ \mu\text{s}$ ；同时由于 AU 指针调整的累积，在 AU4 转换到 TU12 时，将产生 $3.9\ \mu\text{s}$ 的 TU 指针调整。其中 AU 指针调整和 TU 指针调整的方向是相反的。最后由于频偏的不断累积，将造成 SDH 内部 FIFO 清零，这样就恢复到初始相位，开始新一个周期的变化。

所以指针调整反映到时延变化有两个地方：一是 AU/TU 指针调整；二是 FIFO 寄存器清零^[5]。

1) AU/TU 指针调整

SDH 包含一个指针处理器，它包括指针解释、弹性存储器和指针产生三部分组成，如图 7 所示。

指针处理器将接受到的数据用输入时钟写入弹性存储器，并用系统时钟读出弹性存储器中的数据。写和读两个时钟的相位差，或者输入信号中的指针调整都会引起弹性存储器填充情况的变化。如果填充成

都超过了某个上限或者某个下限，就要在输出信号中进行指针调整。上限和下限之间的部分称为“门限范围”，通常用字节数来表示。指针处理器根据“门限

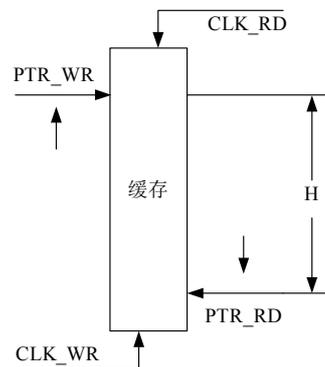


Figure 5. Cache schematic
图 5. 缓存示意图

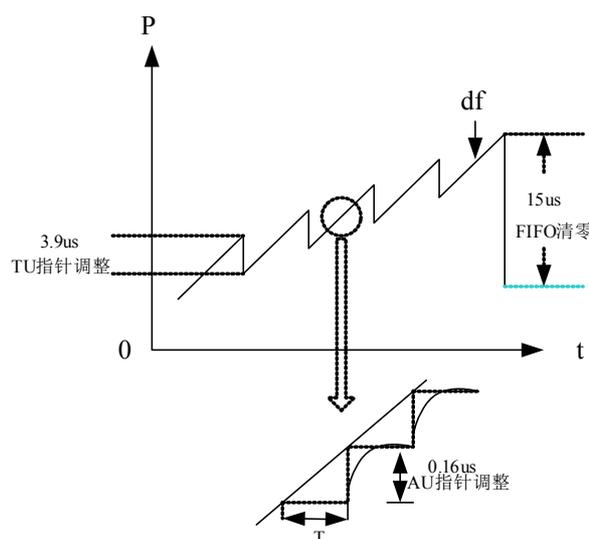


Figure 6. Point B and C dot clock out of sync on the influence of time delay

图 6. B 点与 C 点时钟的不同步对时延的影响

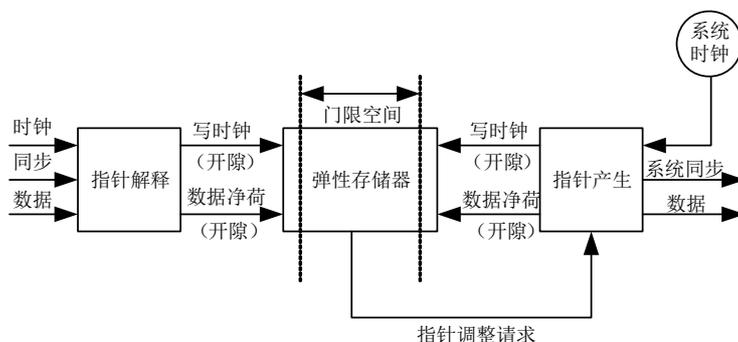


Figure 7. The diagram of pointer to the processor
图 7. 指针处理器示意图

范围”来决定调整输出指针。只要弹性存储器的填充程度是在上、下两个门限之间变动，就不产生输出指针调整，且输出净荷的定时完全取决于系统时钟。只有发生较大的相位偏移时，净荷相对于系统时钟的相位才由一个正或负的指针调整改写。

其中 AU 指针调整的门限值的步阶是 3 字节，约为 154 ns，门限大于 12 字节；TU 指针调整的步阶是 1 字节，约为 3.9 us，门限大于 2 字节。AU 指针调整的原因多为频偏引起的，而 TU 指针调整都是 AU 指针带来的。AU 指针的调整周期：

$$T_{AU} = \frac{24}{150.336 \times 10^6 \times df_C}$$

其中：df_C 为 C 点频偏。所以，当 df_C 为 1×10^{-8} 时，即二级钟的最差门限时， $T_{AU} = 16$ 秒，这样一天产生 5400 次 AU 指针调整；当 df_C 为 1×10^{-11} 时，即二级钟处于非常好的状态时， $T_{AU} = 15964$ 秒，这样一天产生 5.4 次 AU 指针调整。

2) FIFO 寄存器清零

SDH 在系统线路信号的接收侧，有一深度为 H 的先进先出 FIFO 寄存器，如图 8 所示。

从上图可以看到，从远端站点线路发过来的信号，经时钟提取和数据分离后，数据以远端站点的时钟频率 CLKW 写入 FIFO 中，数据写入地址为 0；同时，本端系统以本站时钟频率 CLKR 将 FIFO 内的数据读出，数据的读出地址为 FIFO 寄存器中最早写入的数据地址，假设为 RA。如果远端站点的时钟和本站时钟不同步，存在频偏，也就是 FIFO 数据的写入或读出速度不一样，则数据的读出地址将会发生变化：当数据写入速度大于数据读出速度时，RA 将增加；当数据写入速度小于数据读出速度时，RA 将减小。

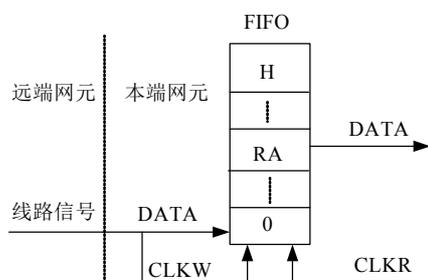


Figure 8. The map of AU pointer adjustment mechanism
图 8. AU 指针调整产生机理图

规定一个允许的数据读出地址值最小值 Lmin 和最大值 Lmax。则：当 $Lmin < RA < Lmax$ 时，不产生 AU 指针调整；当 $Lmin \geq RA$ 时，产生 AU 指针正调整；

产生的原因是在这种情况下，系统时钟的读出操作会在下一帧的 H3 最后一位的位置多停留 24 个周期不变。这样相当于在该帧的 H3 字节后插入了 3 个字节，从而导致下一帧以后的 J1 位置后移 3 个字节，即 AU 指针正调整。

当 $RA \geq Lmax$ 时，产生 AU 指针负调整；产生的原因是在这种情况下，系统时钟的读出操作会在下一帧的 H2 最后一位的位置，跳过 3 个 H3 字节，从而导致下一帧以后的 J1 位置前移 3 个字节，即 AU 指针负调整。

当 $RA = H$ 时，FIFO 溢出，重新初始化 $RA = H/2$ ，数据丢失，产生误码。

所以当存在固定频偏时，传输时延单方向变化，当变化到超过门限时，FIF 寄存器清零，重归 H/2 处，这时的相位变化将根据 FIFO 寄存器的大小而定。一般此时的相位变化小于 $15 \mu s^{[6]}$ 。

4. 总结

SDH 是一种新的数字传输体制。称为电信传输体制的一次革命，本文进行了延迟分析和抖动漂移分析。延迟是由两部分构成：一是光缆传输时延；二是设备处理时延。光缆传输时延指信号在 SDH 设备之间光纤中的传输时延。设备处理时延通过一个内部的缓存来处理数据。抖动和漂移包括采样误差、码速调整、指针调整等因素。人们在对偏差随时间变化进行傅立叶分析的基础上，把定时偏差分成两类，分别称为抖动和漂移发生得慢的定时偏差称为漂移。抖动则是指发生得比较快的定时偏差。在许多情况下，漂移对串行通信链路影响很小或没有影响，因为时钟恢复电路可以有效地消除漂移。通过实验得出码速调整将带来时延的变化，指针调整反映到时延变化有两个地方：一是 AU/TU 指针调整；二是 FIFO 寄存器清零，分别分析这两个地方得出指针处理器根据“门限范围”来决定调整输出指针的结论。基于 SDH E1 信道时间同步传输精度分为固定时延部分和可变时延部分。固定时延迟可用人工测试的方式在工程初期补

偿。可变时延是由于抖动和漂移引起的时延变化，和传输网络的频率同步情况和时间设备的处理方式相关。传输网络的频率同步情况不好将直接导致从站时间输出性能的劣化。通过以上分析，对网络规划给出如下建议：

- 基于 SDH 的地面时间同步传输，需要 SDH 频率同步情况满足数字同步网工程设计要求。
- 所选 E1 路由，以直达路由为优，避免低阶跳接的情况出现。
- 时码到 E1 的转化，利用 E1 信道的全时隙。

参考文献 (References)

- [1] 孙洪武, 马涛等 (2012) SDH 光通信系统 E1 通道时间传递特性测试分析. *电力系统通信*, **234**, 36-41.
- [2] 韩君诚 (2011) SDH 技术在电力通信网中的应用研究. *科技与生活*, **17**, 113.
- [3] Rodriguez, B.P. (2012) The time synchronization technology research based on the SDH network. *Telecommunications for Electric Power System*, **4**, 67-71.
- [4] Mo, L., Wu, S.L. and Mao, E. (2012) SDH network analyzer pointer adjustment module test design and implementation. *Heilongjiang Science and Technology Information*, **20**, 122-127.
- [5] ITU-T (2000) The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy. G.823.
- [6] 高教波, 李建军, 孙治家, 王军, 郑雅卫, 王吉龙 (2011) 多波长激光复合点目标运动模拟. *应用光学*, **3**, 562-567.