

数字网传输损伤

孙 玉 编著

李 琳 审校

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书从数字通信网全网传输质量观点出发,集中讨论数字连接的全程传输损伤。即从定义、产生、影响、特性、积累、分配、控制、测量以及国际电报电话咨询委员会(CCITT)相应建议等方面,讨论误码、抖动、漂移、滑动、延时及帧失步等项数字传输损伤。

本书可以作为从事数字通信网规划、设计及维护的专业人员的基础参考用书;也可供大专院校通信专业师生参阅。

数 字 网 传 输 损 伤

孙 玉 编 著

李 琳 审 校

*

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

•

开本: 850×1168 1/32

1985年11月第一版

印张: 9 28/32 页数: 158

1985年11月河北第一次印刷

字数: 259 千字

印数: 1 — 3,200 册

统一书号: 15045·总3072-无6341

定价: 2.55 元

前 言

近年来，国内外关于数字网研究与试验的步伐明显地加快了。国内民用、军用及企业专用数字网陆续开始规划，有的已经建设到有相当的规模。这些工程规划与工程建设向数字网总体设计和技术研究部门提出一系列技术疑难问题。其中绝大部分涉及到如何确定数字网的各种传输损伤这类基本性课题。国际上关于数字网研究与建设已经积累了相当丰富的经验。在此基础上，国际电报电话咨询委员会（CCITT）关于数字网传输损伤（*Transmission Impairments in Digital Networks*）规范做了大量研究工作，并且提出了相当完善的建议。笔者1977-1983年间参与了CCITT第XVIII研究组（数字网）的工作，感到有责任把这些建议的内容写成比较完整、简明的材料，供我国从事数字网研究与建设的同志们参考。

本书从数字网全网质量观点出发，集中讨论数字连接的全程传输损伤。一般是先简明扼要地介绍理论基础，再说明国际建议，以便读者理解，并能从中得到较系统、较完整并有工程实用意义的概念。全书共分十章。第一章介绍各项传输损伤的基本概念、度量方法、相互传递关系以及规定这些损伤项目的通用方法；第二章到第七章分别从定义、产生、影响、特性、积累、分配、控制、测量以及CCITT建议等方面，讨论误码、抖动、漂移、滑动、延时及帧失步等项数字传输损伤。技术水准与损伤规范总是相互影响的。技术水准是确定损伤规范的基础，而损伤规范又推动着技术的发展。现有的科技专著通常是按技术内容分类的。例如：编码技术、数字传输、数字复接、数字交换等。这类专著主要讲技术原理，而损伤规范在其中居次要地位。本书则主要讲损伤规范，将其具体实现技术放在次要地位。采用这种不同写法之目的在于突出损伤规范，侧重

满足数字网总体设计和工程建设工作的需要。

笔者编写本书,是以目前可能查到的经典文献、1977年到1984年期间CCITT数字网研究组有关资料以及本人所在单位关于数字网研究的一些结果为依据的。在我国建设数字网的进程中,本书如能起到一砖或一石的作用,就满足了个人多年的心愿。本书初稿经李琳同志审阅,提出了很多宝贵意见,并做了几处重要的更改,谨在此致谢。

孙 玉

于石家庄通信研究所

1984年4月14日

目 录

一、概述	(1)
1. 数字网及其承担的业务	(1)
2. 数字连接及传输损伤	(3)
3. 数字传输性能指标	(7)
4. 数字传输损伤传递	(11)
5. 数字传输模型	(15)
参考文献	(19)
二、误码	(21)
1. 引言	(21)
2. 误码定义	(21)
3. 误码影响	(22)
4. 误码度量	(27)
5. BER与EFS的取值	(32)
6. 误码分布	(35)
7. 误字率	(47)
8. 误码积累	(53)
9. 误码分配	(56)
10. 误码产生	(58)
11. 误码增殖	(65)
12. 误码抑制和误码控制	(70)
13. 误码测量与监视	(74)
14. CCITT关于误码的建议	(81)
参考文献	(89)
三、抖动	(92)

1. 抖动概念	(92)
2. 数字传输设备的抖动产生	(95)
3. 数字段的抖动积累	(102)
4. 数字复接器的抖动产生	(109)
5. 塞入抖动积累	(119)
6. 抖动的影响	(126)
7. 抖动抑制	(135)
8. 抖动测量	(143)
9. 数字网的抖动规范	(155)
10. 数字链路的抖动积累	(160)
参考文献	(164)
四. 漂移	(167)
1. 漂移概念	(167)
2. 漂移来源	(168)
3. 漂移积累	(175)
4. 漂移影响	(181)
5. 漂移对策	(183)
6. 漂移调整	(185)
7. 滑动控制滞后	(189)
8. CCITT推荐	(193)
参考文献	(199)
五. 滑动	(200)
1. 滑动概念	(200)
2. 滑动的产生	(201)
3. 结点时钟规范	(205)
4. 滑动的影响	(210)
5. 滑动性能指标	(213)
6. 受控滑动指标及其分配	(216)
7. 链路滑动速率及局钟精度分配	(219)

8. CCITT关于滑动的建议.....	(222)
参考文献.....	(226)
六、延时	(228)
1. 延时问题.....	(228)
2. 群延时.....	(228)
3. 传输系统产生的延时.....	(232)
4. 数字设备中产生的延时.....	(235)
5. 延时的影响.....	(240)
6. 延时分类.....	(241)
7. 对回声/延时的限制.....	(242)
8. 回声抑制与回声抵消.....	(246)
9. CCITT推荐.....	(250)
参考文献.....	(253)
七、帧失步	(255)
1. 帧失步概念.....	(255)
2. 帧失步起因.....	(257)
3. 误码引起的帧失步.....	(259)
4. 滑动引起的帧失步.....	(264)
5. 帧失步扩散.....	(270)
6. 帧失步的影响.....	(273)
7. 减少帧失步的方法.....	(275)
8. 帧失步测量.....	(276)
9. 帧失步规范.....	(279)
参考文献.....	(279)
附录	(281)
〔附一〕数字网术语.....	(281)
1. 一般术语.....	(281)
2. 数字信号.....	(281)
3. 数字传输.....	(282)

4. 数字复接.....	(283)
5. 帧定位.....	(284)
6. 定时	(284)
7. 同步	(285)
8. 脉冲编码调制	(285)
9. 综合业务数字网	(286)
参考文献	(287)
(附二)建议G.703、系列数字接口的物理/电气特性.....	(288)
1. 64kb/s接口	(288)
2. 1544kb/s接口(译略)	(296)
3. 6312kb/s接口(译略)	(296)
4. 32064kb/s接口(译略)	(296)
5. 44736kb/s接口(译略)	(296)
6. 2048kb/s接口	(296)
7. 8448kb/s接口	(298)
8. 34368kb/s接口	(300)
9. 139264kb/s接口	(301)
10. 2048kHz同步接口	(303)
11. 97728kb/s接口(译略)	(305)
12. 建议G.703的附件A	

一、概 述

1. 数字网及其承担的业务

众所周知,通信网分为模拟通信网和数字通信网两类。早期建设的并且现在主要使用的是模拟通信网;近期发展起来的并且可能取代模拟通信网的是数字通信网。后者简称数字网(*digital network*)。这两类通信网的网路结构类似,采用的技术则截然不同。至于两类通信网可能承担的业务,似乎没有差别,它们都能承担各种话音业务和非话音业务,但是二者在承担各种业务时,可能提供的技术性能及需要付出的经济代价却有很大差异。从目前技术发展的趋势来看,这种差异将越来越大。这也就是数字通信网能逐步取代模拟通信网的主要原因。

数字网是指采用综合数字传输和数字交换以使两点或多点之间进行通信或提供其它可能功能的数字连接的数字结点和数字链路的集合。这个定义含有三层意思:它说明数字网是由数字连接的数字结点和数字链路构成的;又说明数字网所采用的基本设备或基本技术是综合数字传输和数字交换;还说明数字网能为两点或多点之间提供通信和可能的其它功能。

数字网为两点或多点之间提供服务总是通过具体的数字连接来实现的。一般说来可以采取交换连接(包括半固定连接方式)或者非交换连接(即固定连接方式)来建立这种连接。在本书讨论传输损伤时,是假定已经建立了数字连接,而无需考虑具体建立连接的方法。一个简单的数字连接的例子示于图1-1。一般说来,两个用户之间或者两个标准64rb/s基本接口之间,通常要经历数字交换、数字复接及数字传输等各个基本环节。在数字连接中流动着多种信

息流参见图1-2。数字传输系统的发端与收端之间流通着传输同步信号（或称比特同步信号）；数字复接系统的复接器与分接器之间流通着复接同步信号（或称帧同步信号）；数字交换机内的帧调整器之间流通着交换同步信号（或称网同步信号）；数字交换机内的控制机之间流通着交换信令。上述五种信号在数字连接中都是有始点又有终点的。只有信码才贯穿整个数字连接的全程，即从用户出发经由数字交换机的接续网络、帧调整器以及数字复接器和数字传输系统，最终送到另一个用户。从以上介绍中可以看出，只有信码才是从用户到用户为用户提供实际通信服务的；其它五类信号是保障信码的正常传输所用的。

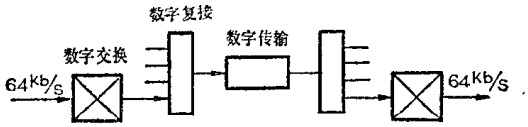


图 1-1 数字连接简图

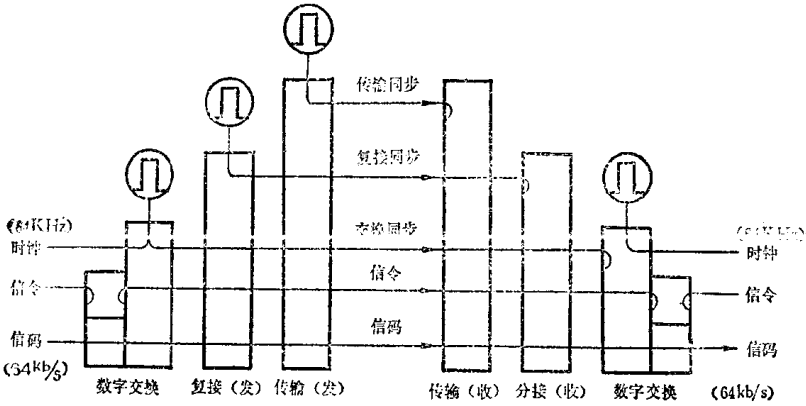


图 1-2 数字连接中的信息流

电信主管部门向它的用户提供的、满足一种特定电信要求的服务称为电信业务(Telecommunication Service) 简称业务(Service)。业务可以分为承载业务和通信业务两种。承载业务(Bearer Service)

是指提供用户与网路接口之间的信号传输能力的电信业务，电信业务(Teleservice)是为符合电信主管部门间协议规约的用户之间通信提供(包括终端设备功能在内的)完整能力的电信业务〔9〕。数字网传输质量规范所依据的就是电信业务的质量标准和各种传输损伤对电信业务的影响程度。电信业务劣化到一定程度自然不能满足用户使用要求，而承载业务劣化到某种程度，则会使得整个通信网出现灾难性破坏。因此，在确定数字网传输损伤规范时，不但要考虑电信业务的要求，更重要的还要考虑到承载业务的要求。电信业务包括话音业务和非话音业务，例如：各种数据业务和传真业务都是典型的非话音业务。这些不同种类的电信业务，对数字传输损伤的敏感程度各不相同。因此，在作数字网传输损伤规范时必须考虑各种特定业务的具体要求。总之，业务要求是确定数字网传输损伤规范的基础。

2. 数字连接及传输损伤

数字网是由各种数字单元(数字传输系统、数字复接器及数字交换机等)相互连接所组成的。两个相邻的数字分配架(或其等效设备)之间用以发送和接收一种规定速率的数字信号的全部装置，即若干完整的数字传输系统，构成一个数字段(digital section)。与终端设备或交换机相接的那两个数字分配架(或其等效设备)之间用以发送和接收规定速率的数字信号的全部装置，即由若干数字段与若干诸如数字复接器这类数字设备的特定组合，构成一个数字链路(digital Link)。由若干数字链路和若干数字交换机按特定的组合，构成一个数字连接(digital connection)。数字连接是以电话业务为基础的，通常把从64kb/s接口到64kb/s接口的数字连接称端——端数字连接。这样定义数字连接通常不必区分是交换连接，半固定连接或者固定连接。换句话说，这里定义的连接是业已形成的连接〔1〕。

图1-3给出了数字连接示意图。

数字端——端连接的每个环节（数字传输系统、数字复接器及数字交换等）都可能给被传输的数字信号带来伤害。这种伤害有多

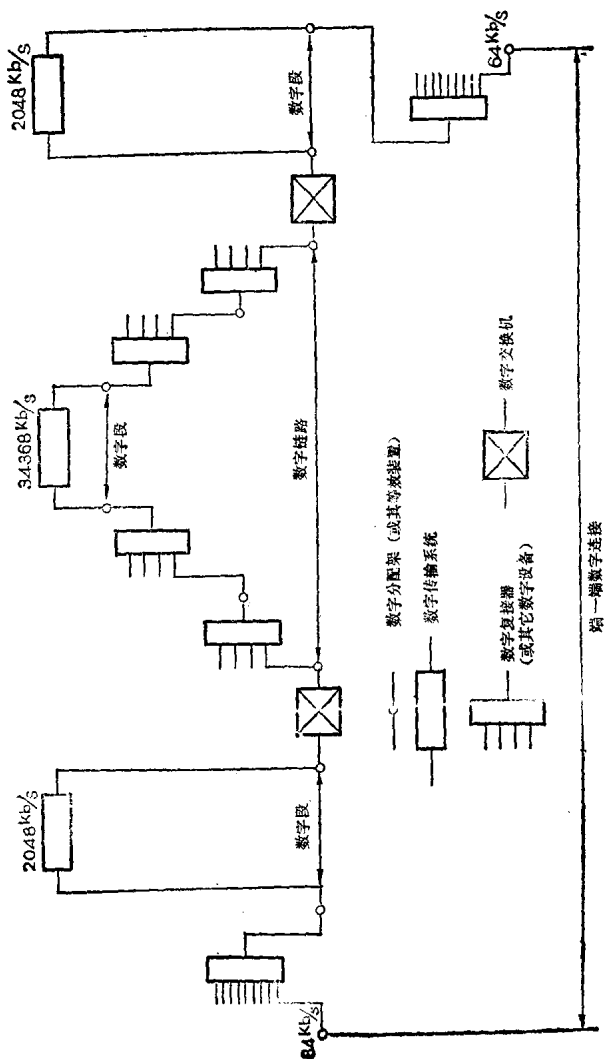


图 1-3 数字连接示意图

种多样，统称数字传输损伤 (*digital transmission impairment*)。数字传输损伤是一个相当复杂的物理现象。究竟如何表达这种物理现象，至今仍是研究课题。目前，CCITT推荐用误码、抖动、漂移、滑动、延时和帧失步等来表示数字传输损伤。这里先把这些损伤的物理概念和国际统一的定义作概要介绍，以下各章再作详细说明〔2〕。

误码 (Error)：顾名思义，误码是指在传输过程中码元发生了错误。更确切地说，误码的定义是接收与发送数字信号之间单个数字的差异 (参见图1-4)。

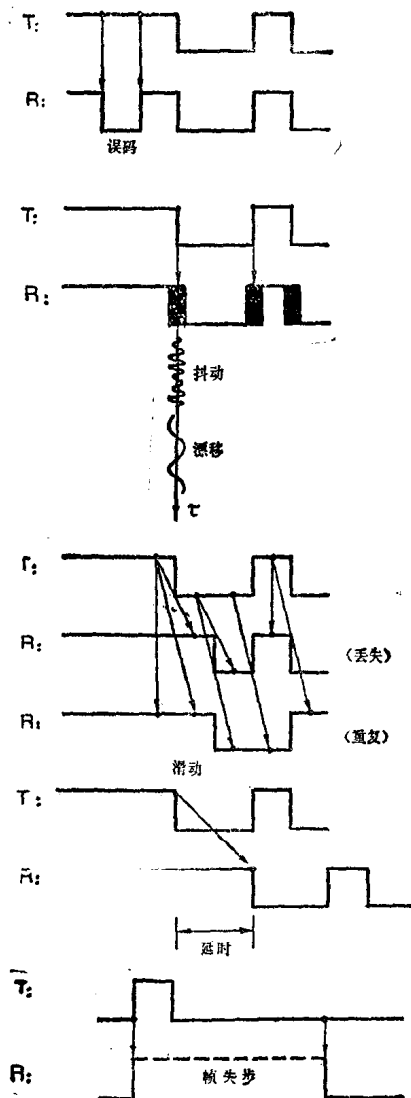
抖动 (Jitter)：抖动是指码元出现的时刻随时间频繁地变化，如同码元在时间域上发抖一样。确切的定义是：数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置的短时偏移。(参见图1-4。)

漂移 (Wander)：看起来漂移很像抖动，不同的仅仅是码元出现时刻变化得比较慢些，好像码元在时间域上慢慢漂游一样。漂移的确切定义为数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置的缓慢偏移。这个定义与抖动的定义不同之处仅仅是迅速偏移与缓慢偏移。快慢二字正是抖动与漂移二者本质差别之所在。同样是偏移理想时间位置、快慢不同则反映二者起因不同；对传输的影响也不相同。然而，快慢究竟如何定量划分，却是个至今尚在研究的问题。(参见图1-4。)

滑动 (Slip)：一个数字信号序列在传输过程中，丢失了若干码元，或者插进来若干码元统称为滑动。滑动的确切定义是：数字信号连续数字位置不可恢复的丢失或增加。(参见图1-4。)该定义中未限制每次滑动究竟丢失或增加多少码元；也未说明发生滑动是随机的或是人为控制的。这要在滑动一章中具体讨论。

延时 (delay)：延时是容易理解的，但应强调延时是个相对概念。延时的确切定义是：数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置的推迟。(参见图1-4。)

帧失步 (Loss of frame alignment)：不是所有的数字流都存



T_x : 通过数字连接入口的信号
 R_x : 通过数字连接出口的信号

图 1-4 数字传输损伤图解

在帧失步问题，只有那些具有帧结构的群码流才存在帧失步问题。此外在数字连接中也不是所有环节都会给群码流引入帧失步损伤。例如：一般数字传输系统就不会引入这种损伤，只有那些以帧结构为基础的设备（例如：分接器和帧调整器）才能引入帧失步。帧失步的确切定义是：接收设备的帧与接收信号帧不保持规定的相位关系时的状态。

这些数字传输损伤有的相互影响，有的彼此转化。所有这些传输损伤都使所传送的业务质量变坏，甚至破坏整个连接的正常工作。因此全面分析这些传输损伤的各种属性，并予以适当规划，是数字网技术研究的基础课题之一。这也正是本书所要讨论的主要内容。

3. 数字传输性能指标

在数字网中，用数字传输损伤来表达一个数字连接的传输质量。上述误码、抖动、漂移、滑动、延时和帧失步等项传输损伤，可以用适当的可度量的指标来衡量。

众所周知，在实际运行当中，一个数字连接的传输损伤是由多种随机因素决定的。因而测得的传输损伤数值也具有随机性质。例如人们熟悉的误码测量，即使工作环境和设备工作状态未发生什么明显变化，每分钟测得的误码数也是不等的。它们是在某个有限范围内按某种统计规律分布的。其它各项损伤也是如此。如果把全部 N 个测量数据按数值大小分成若干等间隔 (ΔI) 组，相应各组内的测量数据数目记做 n_i ，就可以在二维平面上作出损伤分布直方图（参见图1-5中的斜线图）。各个斜线子区的面积表示损伤处于该区域上的测量数据的相对比例数 $\left(\frac{n_i}{N} \right)$ 。显然整个斜线区的总面积

$$\sum \left(\frac{n_i}{N} \cdot \Delta I \right) 100\% = 100\%$$

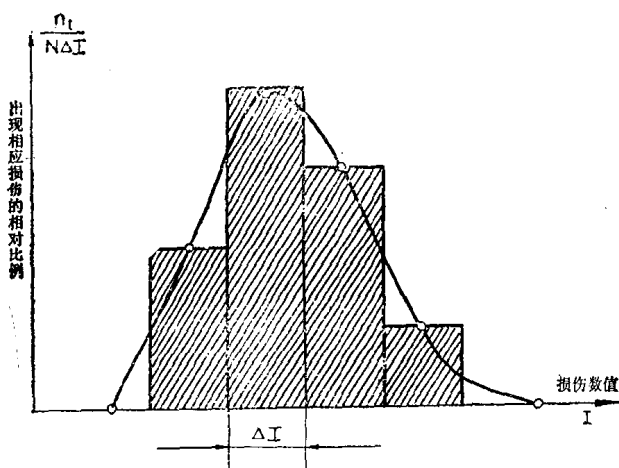


图 1-5 损伤分布直方图及损伤概率密度分布图

即代表全部测量数据。考虑到每次测量时间一定，这个总面积也就代表全部工作时间。纵轴 $\frac{n_i}{N \cdot \Delta I}$ 代表处于单位损伤区域上的测量数据相对比例数或相对工作时间比例。如果把各个子区峰值点连接起来，就形成了一条包络曲线。它大体上可以代表直方图的轮廓线。子区间隔越小，两者就越接近。当子区间隔趋于零时，这条曲线就形成了大家熟悉的损伤概率密度分布曲线。其横轴表示损伤数值大小；纵轴表示出现相应损伤数值的概率分布密度；曲线与横轴围成的面积，即损伤概率密度对损伤数值的积分等于 1。显然，不管损伤概率密度分布曲线形状如何，它们所围成的面积总是相等的。从概率论角度严格说来，用损伤概率密度分布做为传输损伤的度量才是比较完善的。但是在工程应用当中，用这种方法有时不够简明方便。通常采用由此导出的损伤均值、方差以及超越某个门限值的概率等统计量。有时甚至只用损伤平均值来表示损伤的大小。例如：用平均误码率和无误码秒平均百分数来度量误码损伤；用平均滑动频次和每次滑动引起的平均信息损失数量来衡量滑动损伤；用平均延时间隔表示延时损伤程度，用平均帧失步频次和帧失步平均持续

时间来衡量帧失步损伤程度等。CCITT对于各种传输损伤的度量方法，近年来倾向于采用几种规定的门限数值以及超越这几种门限的概率（或时间百分数），来具体表示一种传输损伤的性能指标。这种表达方法把性能指标与有效性的概念联系起来了，这样就更为可取。

对于一个端到端连接的总的传输质量而言，应当考虑到所有各类传输损伤综合形成的总损伤的影响。因为这些损伤之间存在着相互影响或者相互转化的制约关系，故考虑某一种传输损伤指标时，通常假定其它各项传输损伤处于最大值情况。

在数字网工程中，不同的应用场合采用不同的损伤指标。具体地说，可以分别采用下列四种不同的指标：用于各种网路和用于各种链路性能指标，用于传输和交换设备的设计指标，用于电路、传输和交换设备的交工验收指标，以及用于电路、传输和交换设备的维护和业务极限指标。

性能指标是在规划通信网路或链路时，用来度量网路全程连接或链路的传输损伤的。这些传输损伤可以通过仪表测量得到。制订性能指标的目的在于对用户提供的服务质量，因此，主观评定试验或客观性能评定将是制订性能指标的主要依据。通常使用的假想参考连接是分析检查通信网路是否达到性能指标的有力工具。

设计指标的对象是设备。一项设备（传输或交换）的设计指标是在一定的电气/物理环境下，即诸如电源电压、信号负荷、温度、湿度等，对某一项可以测量的传输损伤的规定。它的目的在于为设计某项设备提供有关技术性能方面的依据。它与性能指标不同，是对全部设备而言的，是一个不允许超过的数值。通常使用的假想参考电路或假想参考数字链路是分析、检查通信设备是否达到设计指标的有力工具。

交工验收指标是指在交工验收时，对于一组特定的环境条件的最大可能接受的数值。因为在特定环境中安装的设备所遇到的情况，与假想参考电路或设计设备时的各项假定有区别。所以在交工