

ITU-R S.614-4 建议书

当工作于 **15 GHz** 以下的卫星固定业务假设参考数字
通路成为综合业务数字网国际连接的一部分时
允许的差错性能*

(1986-1990-1992-1994-2005)

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) ITU-T 已定义了综合业务数字网 (ISDN) 的概念；
- b) 工作于卫星固定业务 (FSS) 的卫星将对 ISDN 概念扩展到国际连接起重要的作用；
- c) 良好的差错性能是任何数字传输系统的基本特性；
- d) ITU-T 在 ITU-T G.821 建议书中已对成为 ISDN 一部分的 64 kbit/s 国际数字连接的差错性能做出了规定；
- e) 建立和维护数字通信卫星系统的成本，关键取决于总的差错性能；
- f) 在规定差错性能标准时，必须考虑所有可预见的会引起差错的机理，尤其是随时间而变化的传播条件和干扰，

注意到

1 仍然有卫星假设参考数字通路 (HRDP) 在工作，这样设计是考虑到 ITU-T G.821 建议书的目标，包括恶化分参数，随后在 1996 年版的 ITU-T G.821 建议书中删除了该参数。

建议

1 工作于 15 GHz 以下并构成 64 kbit/s ISDN 连接的一部分的卫星假设参考数字通路 (HRDP) (在 ITU-R S.521 建议书中规定) 输出端 (即双向接续的任一端) 的误比特率 (BER) (见注 2)，在可用时间内应不超过下列给定值：

- 1.1** 任何月份的 10% 以上时间， 1×10^{-7} ，
- 1.2** 任何月份的 2% 以上时间， 1×10^{-6} ，
- 1.3** 任何月份的 0.03% 以上时间， 1×10^{-3} (见注 5)；

* 本建议书的这一版本参考 ITU-T G.821 建议书，该建议书在 1996 年之前起草，并于 1996 年删除了恶化分参数。所有未来的卫星系统的设计都应基于 ITU-R S.1062 建议书的最新版本。

2 下列注解应视为本建议书的一部分：

注 1 — § 1 是采用附件 1 中概述的方法而制定的。它是基于，并且能够充分满足于，ITU-T G.821 建议书给出的卫星固定业务 HRDP 在所有可预见的工作条件下所要求的差错性能指标。ITU-T 给一个 FSS HRDP 分配的指标 — 适用于任何一个月左右期间的可用时间的，可表示如下：

- 误比特率劣于 1×10^{-6} 的 1 min 时间间隔数少于 2%，
- 误比特率劣于 1×10^{-3} 的 1 s 时间间隔数少于 0.03%，
- 有差错的 1 s 时间间隔数少于 1.6%。

注 2 — § 1 中各 BER 应在足够长的时间周期内测量，以便确保能准确估算误比特率（见附件 1）。

注 3 — 本建议书中所给出的 BER，是基于假定对严重差错秒的影响可出于两种不同的差错机理：随机性差错和突发性差错。对于大部分时间，差错是随机性的，并受 § 1.1 和 § 1.2 的制约。严重差错秒不包括在为检验 § 1.1 和 1.2 而进行的随机性差错测量之中，但包括在 § 1.3 之中（见附件 1）。

注 4 — § 1 中 BER，为可能因附件 1 中所确定的各种源所引起的某些突发性差错提供一余量。

注 5 — 任何月份的 0.03% 值是指在可用时间期间测得的 BER。例如，按最坏月份（总时间）的 0.2% 不可用率指标设计卫星系统能满足该指标。使用 10% 的可用率因子（当 BER 劣于 10^{-3} 时，可用时间与总时间之比），这相当于任何月份可用时间的 0.02%。

此外，必须要有一个余量以适应在 BER 优于 10^{-3} 时那些严重差错秒的影响。以该余量取最坏月份的 0.01% 为例，总性能指标将为最坏月份可用时间的 0.03%（见附件 1）。

注 6 — 本建议书中所指的假设参考数字通路（HRDP），在 ITU-R S.521 建议书中做了规定。

注 7 — 有关卫星到卫星链路的性能有必要制定专门的条款。该条款的范围是需要做进一步研究的一个问题。

注 8 — 本建议书仅当该系统根据 ITU-R S.579 建议书认为是可用的并具有高误比特率超过 10^{-3} 且持续时间小于 10 秒的周期时才适用。短暂的中断（10 s 以内）应看作相当于 BER 超过 10^{-3} 的情况。

注 9 — 本建议书中给出的差错性能指标是设计为满足符合 ITU-T G.821 建议书的 64 kbit/s 电路交换 ISDN 连接所规定的端到端性能。在非 ISDN 连接中，传送 PCM 编码电话的卫星系统，其性能指标已在 ITU-R S.522 建议书中给出。在设计传送诸如话音频带数据（如传真）或低速率编码（LRE）语音（64 kbit/s 以下）等其他类型数字信息的卫星系统时，可使用 ITU-R S.614 建议书，直到可能导致性能指标得以改善的更专门的研究工作完成为止。

注 10 — § 1 中所指出的各种 BER 指标并不是唯一能满足 ITU-T G.821 建议书中给出的要求性能指标。对于 BER，设计者在适当场合可采用其他的特性罩，只要这些特性罩能满足 ITU-T G.821 建议书。可供选用的其他特性罩的实例见附件 1。

注 11 — 系统的设计最好以至少 4 年期间的传播数据为基础。建议在“任何月份”要满足的性能，应以有可靠数据的所有年份的月度统计中与“全年最坏月份”中值相对应的传播数据为基础。

注 12 — § 1 中所述的差错性能是以在假设参考连接（HRX）的“高级”段中使用 HRDP 为基础而制定的（见 ITU-T G.821 建议书）。HRDP 在假设参考连接中的其他应用是可能的，其差错性能指标可做相应的调整。

注 13 — 为了符合 § 1 中给出的值，对工作于 10 GHz 以上的系统，采用抗衰落策略和技术，可能是有益的。ITU-R S.1061 建议书对这些提供了基本指导。

注 14 — BER 对时间百分数的一种测量方法在附件 1 中给出。

附 件 1

成为综合业务数字网一部分的卫星固定业务假设参考数字通路的特性

1 引言

本附件论述了 FSS HRDP 成为综合业务数字网 (ISDN) 中假设参考连接 (HRX) 一部分时需要达到的性能指标。ITU-T G.821 建议书 (1988 年 CCITT 蓝皮书, 卷 III.3) 对 64 kbit/s 电路交换连接用的 ISDM HRX 做了定义, 对性能质量定义采用 3 种电路等级: 本地、中间和高级。国际卫星电路被看作是高级性能段的一部分。

下列章节论述如何将 ISDN HRX 总性能指标分配给 FSS 以及该分配对 FSS 系统设计的影响。

2 成为 ISDN HRX 一部分的 64 kbit/s 卫星信道

2.1 FSS HRDP 的性能要求

2.1.1 卫星系统差错性能指标

卫星系统的性能通常以误比特概率表示, 而 ITU-T G.821 建议书则表示为: 对于一定的时间百分数, 时间间隔必须具有一个规定的差错率。这些百分数在较长的即约为一个月的周期内获取。本节论述用以把 ITU-T 规范转换成卫星系统用性能指标形式的方法, 并给出由于将这种方法应用于 ITU-T G.821 建议书所标出的值而产生的卫星 HRDP 的性能要求。

本附件对误比特概率 (BEP) 和误比特率 (BER) 做了仔细的区别。在下列一些节中广泛使用的 BEP, 是用来表示数据通信设备理论性能的一个抽象的量值。BER 则是一个较快测量的量值 (即发送的每批比特中差错的比特)。只要测量的次数足够多, 每次测量时间又足够长, 就可在任何所需精确度范围内估算出 BEP。

本附件中采用的方法是假设 (64 kbit/s) 卫星系统链路性能受基本上属于随机性质的机理所限制, 并能通过使用泊松或二项式方法来分析, 以在给定的误比特率的情况下, 计算在给定的时间间隔内出现给定差错数的概率。实际上, 系统设计者还必须注意到以该方法未能分析到的突发性差错 (可能产生这类突发性差错的一些机理在 § 2.2 中描述), 并要留有足够的余量以补偿这些效应。

纠错技术引起的突发性差错在 § 5 中论述。

2.1.2 ITU-T G.821 建议书的要求

表 1 综合了 ITU-T G.821 建议书中给出的端到端性能指标和卫星 HRDP 指标。对于每种性能分类，除了对卫星 HRDP 的要求外，还给出了总的端到端的要求。

2.1.3 满足 ITU-T G.821 建议书要求的 BEP 模型

第 3 节概述了根据表 1 给出的参数可对给定的 BEP 与时间百分数分布的关系进行分析的方法。采用该方法，能够在卫星系统的一般特性基础上推导出满足或超过 ITU-T G.821 建议书中规定的各项指标的若干种分布，即模型。

这里概述 § 3 中给出的模型中的一种。该模型兼顾了典型地工作于 10 GHz 以上传播受限系统的要求和典型地工作于 10 GHz 以下干扰受限系统的要求，并能适合大容量最新卫星系统。

图 3 中曲线的转折点所示的该模型的 BEP 要求如下：

- 最坏月份的 90% 时间， $BEP=1 \times 10^{-7}$ ，
- 最坏月份的 98% 时间， $BEP=1 \times 10^{-6}$ 。

该模型的性能按恶化分、差错秒和严重差错秒 3 种情况汇总于表 2。为了说明系统设计计算和 ITU-T G.821 建议书的指标之间的关系，性能是按总时间和可用时间列出的。

表 1
国际 ISDN 连接的总的端到端和卫星 HRDP 的差错性能指标

性能类别	总的端到端的指标 (注 4)	卫星 HRDP 指标 (注 4)
(a) 恶化分 (注 1、2)	在 1 min 间隔内误比特率劣于 1×10^{-6} 的少于 10% (注 3)	在 1 min 间隔内误比特率劣于 1×10^{-6} 的少于 2% (注 4)
(b) 严重差错秒 (注 1)	1 s 间隔内误比特率劣于 1×10^{-3} 的少于 0.2%	1 s 间隔内误比特率劣于 1×10^{-3} 的少于 0.03%
(c) 差错秒 (注 1)	1 s 间隔内有差错的少于 8% (等效于 92% 无差错秒)	1 s 间隔内有差错的少于 1.6% (等效于 98.4% 无差错秒)

注 1 — 术语“恶化分”(degraded minutes)、“严重差错秒”(severely errored seconds)和“差错秒”(errored seconds)被用作合适且简明的性能指标“标识语”。其使用并不含有可否接受该性能的等级的意图。

注 2 — 上述 1 min 间隔是这样得出的，即从总时间中除去不可用时间和严重差错秒，然后将剩余的秒依次组合成为 60 s 的组。

注 3 — 为了切实可行起见，在 64 kbit/s 时，1 min 有 4 个差错（等效于 104×10^{-6} 的误比特率）认为不属于恶化。然而，这并不意味着 1×10^{-6} 的误比特率指标有所放松。

注 4 — 总的端到端以及卫星 HRDP 性能指标以可用时间表示（见 § 2.1.5）。

这些模型中使用的“短期”（见注 1）转折点（即 $BEP 10^{-3}$ ）为全月（总时间）的 0.2%，传播可用率因子为 10%（§ 2.1.5 和 § 3）。

注 1 — “短期”一词系指连接的卫星部分出现性能严重恶化（即误比特性能 $>1 \times 10^{-3}$ ）的那个时间周期。“长期”一词系指连接的卫星部分没有出现性能恶化（即误比特性能 $\leq 1.0 \times 10^{-6}$ ）的那个时间周期。

表 2

指 标	性 能	
	总时间 (%)	可用时间 (%)
恶化分	2.05	1.87
差错秒	1.74	1.56
严重差错秒	0.204	0.024

2.1.4 卫星传输的考虑

卫星数字传输链路的性能是多种因素的函数。一个极其重要的因素是传播扰动对传输的影响。采用第 3 研究组（前第 5 研究组）研究出的方法，可预测传播扰动对数字传输性能的影响。

第 4 节给出 3 种不同国际数字卫星系统性能比较的计算结果。这些计算提供了理解实际系统中作为时间函数的传播对短期 BEP 的影响。各模型的性能极限示于图 4。

应当指出，卫星数字传输信道的性能可设计成实际上能满足任何性能规范。然而，采用前向纠错、功率控制和位置分集，可显著改善系统性能，代价是容量减小和/或费用增加。因此，采用上述技术需要有适当的论证。

无线电通信第 4 研究组认为，传播扰动对卫星数字信道性能的影响需要进一步研究，欢迎进一步提供有关该主题的资料。

2.1.5 可用率和严重差错秒性能

在推导满足 § 4 中所述的 ITU-T G.821 建议书的性能模型时，必须考虑链路可供使用的时间比例。一般被接受的不可用时间的定义为：

当每秒钟 BER 劣于 1×10^{-3} 并持续 10 s 时，一个不可用时间周期就开始。这 10 s 认为是不可用时间。当每秒钟 BER 优于 1×10^{-3} 并持续 10 s 时，不可用时间周期就结束。这 10 s 认为是可用时间，并对严重差错秒性能指标产生影响。过大的 BER 只是对总的不可用时间起作用的因素之一。有关可用率的定义可参见 ITU-T G.106 建议书。

在设计降水期间会偶尔出现衰耗周期，其衰耗量超过系统余量的卫星传输链路时，必须考虑到可用率。频率在 10 GHz 以上时尤其是这样，传播研究也表明了这一事实。

表明不会导致不可用时间的传播衰耗事件的各种传播测量汇总于 ITU-R S.579 建议书。得出的结论表明,在出现可能导致 BER 劣于 10^{-3} 的衰耗电平时,总时间中仅 10% 的时间是由按 ITU-T 标准应定义为“可用时间”的周期组成的;其余部分为不可用时间。这意味着“传播可用率因子”为 10%。举例来说,假如 BEP 在总时间的 0.2% 为 1×10^{-3} 或更坏,那么,由于传播特性,仅该时间的 10% 或者说 0.02% 可看做可用时间。这导致了对于总时间的 0.2% BEP 为 1×10^{-3} 的“短期”性能标准。

卫星 HRDP 因设备和传播引起的不可用率指标在 ITU-R S.579 建议书中给出。分配给设备的不可用率指标暂定值为全年的 0.2%,而 HRDP 的传播不可用率性能建议值为最坏月份的 0.2%。

ITU-R S.579 建议书提供了有关传播可用率性能的测量数据,它表明,对于所考虑的衰耗电平,在低的“可用率因子”以及不同地点和气候情况下,不可用时间的百分数可超过全月的 0.2%。在任何情况下,传播的不可用时间总容限,为满足 ITU-T G.821 建议书,应不低于模型“短期”所要求的指标,即全月的 0.2%。因此,对于 15 GHz 以下的频率,推荐在 ITU-R S.579 建议书采纳了该值。

然而,需做进一步的传播研究,以便确定用于不同频带、仰角和气候区域的典型百分比数值。

最后,关于一个传输系统(采用 TDMA 之类技术)的可用率,应当指出,当载波有若干秒钟跌落到低于某同步门限值(典型值为 10^{-2})时,由于可能失去同步,系统可用率与传播可用率会不相同。在 TDMA 系统中,捕获通常需要反复多次才能实现,不可能始终随着载波电平的瞬时恢复而同步。因此,当载波上升到与优于 10^{-3} 的 BER 对应的电平时,可能有一些周期,由于同步延迟,电路实测的 BER 可能劣于 10^{-3} 。这些周期可能是作为不可用时间而不是可用时间。

在某些运行的 TDMA 系统中,各终端是在连续的短于 10 s 的周期范围内对每次接收到的业务突发的独特码进行 BER 测量。在 EUTELSAT TDMA 系统的情况下,该周期的持续时间为 4 s (128 复帧)。在一个测量周期期间,超过 10^{-3} 的 BER 门限时,发送与接收 TDMA 终端之间就交换一组高 BER 维护告警信号。这造成两个终端各自向国际交换中 (ISC) 发送特定的信令序列(对所有有关电路或告警指示信号 (MS),“a”和“b”比特都置于 1)。这些序列可解释为呼叫释放消息,并且可能导致有关呼叫的中断。需做进一步研究,以确定由于高 BER 告警而对网络可用率产生的影响。

2.2 其他产生差错的机理

虽然数字卫星系统中的差错主要是由传播和干扰效应引起的,但确实还存在其他引起差错的机理。本节提供有关这类差错事件的出现率和持续时间的一些资料,其目的特别在于使卫星系统设计者能鉴别这类事件。实际上,在设计数字链路时,可在总的性能指标中留出一个百分数分配给这些机理。然而,这是假设持续时间为 10 s 或更短的这些差错事件将不造成卫星链路被认为不可用。有关造成不可用率的机理的进一步资料在 ITU-R S.579 建议书中给出。

下面的相应机理已被认定为突发差错的起因：

- 地球站 IF 和 RF 设备中的信号通路交换，
- 地球站基带设备中的信号通路交换，
- 地球站的电源瞬变，
- 卫星上的信号通路交换。

下面给出因上述机理而引起突发差错的出现率和持续时间的估计值，并归纳于表 3。

表 3
突发差错机理的典型例子

效 应	出 现 率	持续时间
IF/RF 交换	1.0/月	150 ms
寄生交换	2.0/月	150 ms
基带交换	1.2/月	2-128 bit

根据表 3 可做以下推论：

- 考虑到 64 kbit/s 连接在 1 min 积分期间所受的影响，可以断定，表 3 中所有的影响使每分钟 1×10^{-6} 的指标被突破，意味着必须把某些允许超过 10^{-6} 的时间分配给这些效应；
- 表 3 中事件的总数为每月 4.2 次，因此平均 0.0097% 的 1 min 周期将恶化；
- 表 3 中每次事件各持续不到 1 s，因此平均仅 4.2 s/月（即 0.0002%）含有上述效应所引起的差错。

每月 4.2 次事件按恶化分计仅为 0.01%，按严重差错秒计为 0.00016%，而 ITU-R S.614 建议书的安全性余量分别为 0.13% 和 0.006%。因此，目前本建议书的特性罩不需要为满足特定卫星系统上可能存在突发差错而做修改。假如进一步的研究显示存在其他突发生理机理，则目前的 BER 要求可能需要做修改。

2.2.1 在 IF 和 RF 上的交换

由于故障或例行维护要求开动备用设备而进行 IF 和 RF 交换，会造成差错。

要确定交换事件的频次，必须检查一下各种部件的平均故障间隔时间（MTBF）。从中可推导出每月的切换次数。一些典型的 MTBF 的例子及其平均切换频次在表 4 中给出。

表 4
典型的地球站设备故障率

设 备	MTBF (h)	平均切换频次 (每月)
高功率放大器 (HPA)	2 000	0.36
上变频器	4 000	0.18
调制解调器	>4 000	<0.18
低噪声放大器 (LNA)	8 000	0.09
低噪声放大器后柜	50 000	0.01
下变频器	4 000	0.18
总计		1.0

表 4 中给出的“总计”值系指一个发送地球站和一个接收地球站组成的一条单向链路的。当然，没有为根据统计有些月份将劣于该平均值的情况留任何余量。对此是否可能要留些余量，需做进一步研究。

每次切换的持续时间典型的为 150 ms，包括控制电路的反应时间。

2.2.2 基带上的交换

由于迄今数字基带设备的应用有限，几乎没什么经验可用于推导故障率。唯一可供使用的资料与 TDMA 设备有关，预计中央终端设备为 3000 h 和接口模块为 2000 h 的总的 MTBF。合起来，其结果将为每月 0.6 次故障，即一条完整的链路总共为每月 1.2 次。精心设计可严格控制该值。

故障发生时，切换时间非常短，但对业务的影响可能在时间上要长一些。其结果可能是出现 2 或 3 比特差错到最多丢失一个复帧，即任何一条 64 kbit/s 信道上的 128 比特。

2.2.3 电源瞬变

这种影响是非常难定量的。可利用的最佳数据是，在 IF/RF 设备内部，由这些杂散影响而引起的切换次数平均为由实际设备故障引起的切换次数的两倍。根据上述的 IF/RF 数据，因此估计该影响引起的切换为每月两次。

2.2.4 卫星上的信号通路交换

虽然目前无有关这种影响的数据可提供，但认为不大可能像地球站通路交换那样频繁。然而，随着越来越复杂的卫星投入使用，尤其是如果采用星上交换或处理的话，这种情况可能起变化，因此该课题需进一步研究。

2.2.5 设备切换对 ITU-T G.821 建议书参数的影响

在 Bercenay-en-Othe 和 Trou-Biran 之间对 TELECOM-1 进行测试的期间，观察到地球站设备切换对 ITU-T G.821 建议书参数有下列影响。

	严重差错秒	差错秒	恶化分
参量放大器	2	2	2
调制解调器	2	2	0

该课题，特别是关于其他 IF/RF 设备所引起的影响，需要进一步的资料。

3 差错性能计算和模型

3.1 引言

本节叙述可根据表 1 中给出的参数对以 BEP 与时间分布百分数关系表示的链路性能进行评估的方法。下面 § 3.2 中概述该性能的确切过程，而 § 3.3 导出了 BEP 与时间百分数关系的一些模型，这些模型符合以“实际”系统的一般特性为基础的 ITU-T G.821 建议书。

3.2 计算方法

第一个重要的假设是卫星系统链路性能受基本上为随机特性的机理所限制。这种假设使泊松或二项式方法可用来计算，以一给定误比特或差错事件概率，在给定时间间隔内出现给定差错数或差错事件的概率。在本节所考虑的参数值范围内，二项式分布收敛于泊松分布。

数据已表明，差错或差错事件随机发生的假设是成立的。§ 5 中给出一个例子，而在一些 ITU-R 会议上介绍了证实该假设的更多例子。§ 5 中还给出了由于采用前向纠错而使差错事件分布偏离随机分布的资料。

为了在满足 ITU-T G.821 建议书的要求方面评估链路的性能，必须按 BEP 与时间百分数的关系建立一个链路性能模型。链路模型一旦建立，就可进行计算以确定该特定链路模型是否满足 ITU-T G.821 建议书的差错间隔标准。为此，把时间的百分数轴分成小间隔，这意味着相应这些小间隔的 BEP 具有恒定值，按 BEP 计算各不同差错间隔的出现概率，乘以此时间间隔的值，把每个差错间隔的概率加起来，并把得出的总概率与此标准比较。

为了举例说明计算方法，差错秒（ES）、严重差错秒（SES）和恶化分（DM）的百分数确定如下：

- a) 将考虑中的模型的时间的百分数轴分成许多段，使曲线可用梯形近似法表示。于是每个阶梯的间隔具有一个恒定的 BEP；
- b) 对每个阶梯段的 BEP 值，从图 1 或 2 根据具体情况确定 ES、SES 或 DM 的概率；
- c) 此概率乘以间隔中已分成小单位的时间百分数，得出该间隔对 ES、SES 或 DM 所起的作用；
- d) 全部作用之和给出 ES、SES 或 DM 的总百分数。

步骤 a) 至 d) 可用数学公式归纳如下：

$$\text{全部作用的总和} = \sum [(1 - P(E, N, BEP)) \cdot \Delta T]$$

其中：

ΔT ：阶梯段的时间间隔

$P(E, N, BEP)$ ：特定指标的概率

E ：差错门限

N ：所考虑的性能参数时间间隔中的比特数

BEP ：误比特率；

- e) 对严重差错秒，总和之上必须附加一项，即把 BEP 超过 10^{-3} 而仍属于可用（见 § 2.1.5）的周期中产生的严重差错秒包括在内；
- f) 最后，所得结果可按可用时间的百分数表示。于是，所得结果为 ITU-T G.821 建议书的性能指标的形式，并可与其比较。

图 1 和图 2 的曲线用下列泊松分布公式计算：

$$P(E \text{ 或更少差错}) = \sum_{K=0}^E \frac{(N \cdot BEP)^K \cdot (e^{-N \cdot BEP})}{K!}$$

其中：

N ：所要积分时间间隔中的比特数，例如 1 min 间隔为 $64\,000 \times 60$

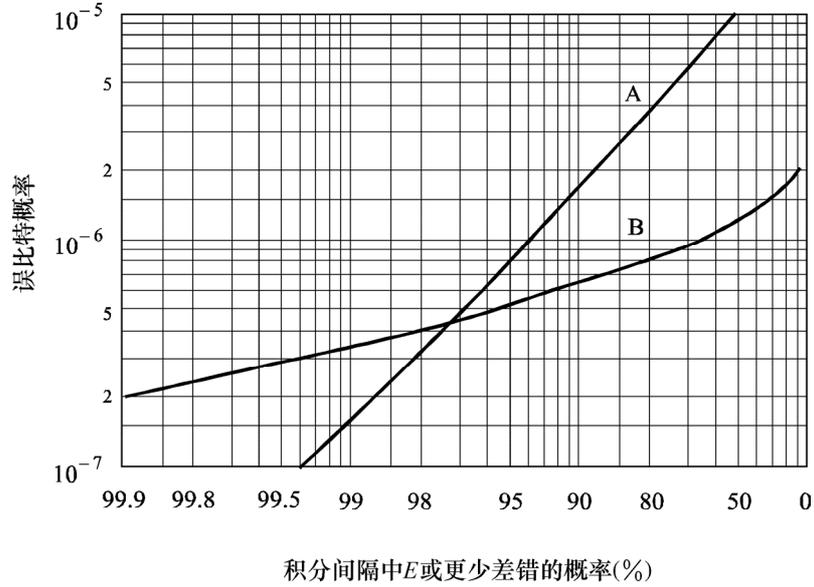
E ：差错门限

BEP ：误比特率。

3.3 模型的性能

通过应用上述换算方法，能发现一些不同的能满足或超过 ITU-T G.821 建议书指标的卫星系统性能模型。图 3 给出了 4 种这样的模型。

图 1



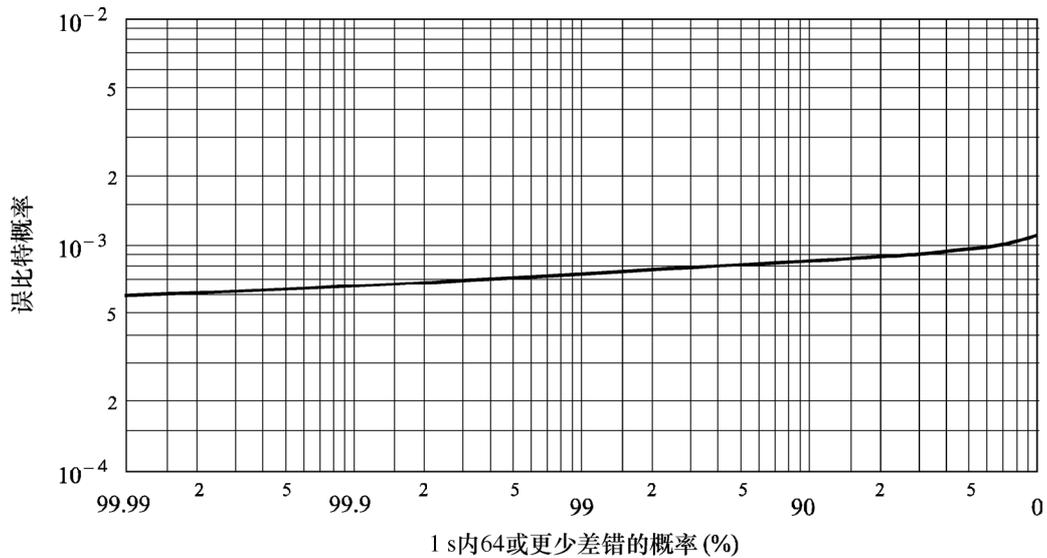
曲线A: 无差错秒的概率, 即(1 - 差错秒的概率)

B: 1 min中4个或更少差错的概率, 即(1 - 恶化分的概率)

0614-01

图 2

1 s 内差错数小于或等于 64 的概率

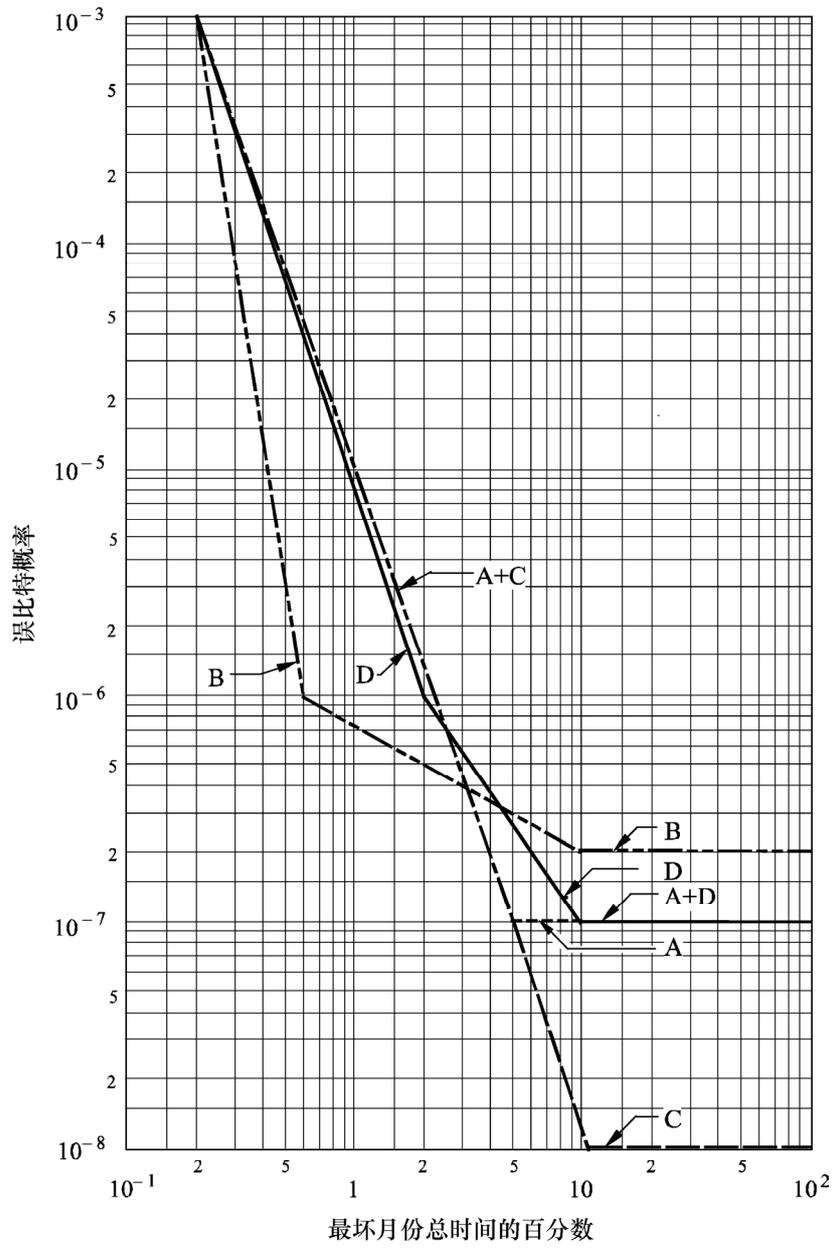


注1 — 每秒内差错64或更少的概率等效于 (1 - 严重差错秒的概率)。

0614-02

图 3

符合 ITU-T G.821 建议书的 BEP 性能模型



- A: 模型a)
- B: 模型b)
- C: 模型c)
- D: 模型d)

这些模型的“长期”转折点（以最坏月份的总时间表示）如下：

- 模型 a)：最坏月份的 95% 时间， $BEP=10^{-7}$
- 模型 b)：最坏月份的 90% 时间， $BEP=2 \times 10^{-7}$
最坏月份的 99.4% 时间， $BEP=1 \times 10^{-6}$
- 模型 c)：最坏月份的 89% 时间， $BEP=1 \times 10^{-8}$
- 模型 d)：最坏月份的 90% 时间， $BEP=1 \times 10^{-7}$
最坏月份的 98% 时间， $BEP=1 \times 10^{-6}$

推导图 3 的模型 c) 的目的在于建立一个对于尽可能短的时间（最坏月份的 89%）其性能保持在低的 BEP (1×10^{-8}) 的模型。在性能几乎完全受降雨衰耗限制的场合这样一种模型应该是合适的（即 10 GHz 以上）。在这种情况下要求有大的衰落余量，以确保在大部分时间能获得良好的 BEP。曲线 A（模型 a)）旨在评估对采用 1×10^{-7} BEP 的“长期”BEP 转折点的影响。在这种情况下，再次采用双转折点特性罩。

模型 b) 的意图在于允许有尽可能高的“长期”BEP。在这种情况下，对于全月 99.5% 时间在 10^{-6} 的 BEP 上增加一个转折点，以更精确地模拟这些时间百分数附近的系统性能。该模型可能适合于较小降雨衰耗的场合或系统间和系统内干扰受限的场合。

模型 d) 兼顾了传播受限系统的要求和干扰受限系统的要求。人们认为，在最新式的大容量卫星系统中，符合该模型而不过高增加成本或不过分损失容量是可能的。

4 种模型的共同特性点是 (0.2%, 10^{-3}) 点，而重要的是确定该点如何能使这些模型符合 ITU-T G.821 建议书的严重差错秒指标 b)。该指标是最坏月份可用时间的 99.97% 为 10^{-3} 。根据 ITU-T G.821 建议书中的定义，10 或更长的连续严重差错秒（那时 BER 劣于 10^{-3} ）的周期被认为是不可用时间。9 或更短连续秒的周期计入可用时间。不可用时间的比率指标可从 ITU-R S.579 建议书中推导出来。

表 5 以 ITU-T G.821 建议书的参数给出上述四种模型的性能。该表对每个参数给出一个月内可用时间中时间间隔的百分数。该表中给出的结果已从总时间中扣除了不可用时间。由于 ITU-T G.821 建议书指的是可用时间的百分数，该表的格式适于与 ITU-T G.821 建议书的要求做性能比较。

表 5 所示的各值是根据 0.2% 总时间的“短期”转折点（即 $BER=1 \times 10^{-3}$ ）和 10% 传播可用率因子进行计算的。

从表 5 可以看出模型 b) 与其他模型之间的显著差别，模型 a)、c) 和 d) 的结果是几乎所有参数都同样能满足 ITU-T G.821 建议书的指标，而模型 b) 的性能十分明显地取决于差错秒的要求。

显然，任何卫星系统设计指标都可用总时间（以前已采用过）或可用时间表示。采用后一种表示法的主要优点是，由于不必对不可用时间百分数做任何假设，就可以更直接地看出各项指标是否与 ITU-T G.821 建议书一致。假使设计者确实需要总时间的百分数，他可以采用与所考虑的频带和气候区相应的换算因子。这在许多场合很可能使需满足的指标不像采用“总时间”指标情况下的那样严格，因为这些指标本身含有“不可用时间百分数”的假设。

表 5

指 标	性能（可用时间的%）				
	ITU-T G.821 建议书	模型 a)	模型 b)	模型 c)	模型 d)
恶化分	2.0	1.97	0.75	1.97	1.87
差错秒	1.6	1.59	1.60	1.06	1.56
严重差错秒	0.03	0.024 ⁽¹⁾	0.022 ⁽¹⁾	0.024 ⁽¹⁾	0.024 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ 对这些数值给出三位小数，以表明 $BER \leq 1 \times 10^{-3}$ 的时间积分对严重差错秒所起的作用。

注 1 — 表中给出的各数值是为了证明所研究的各种模型与 ITU-T G.821 建议书的兼容性。使用不同模型来获得不同的数值。

注 2 — 应当指出，假如卫星系统设计者根据所示的几种模型之一直接进行系统计算，该系统的性能会优于从上述计算获得的性能。这是因为实际系统的 BEP/% 时间特性在大多数场合必然超过模型。

3.4 实际测量方法

3.4.1 引言

网络测试一般旨在验证网络是否满足以 ITU-T G.821 建议书的参数（ES，SES 和 DM）表示的性能指标。因此，建议这些参数尽可能直接按 ITU-T G.821 建议书进行测量，而不去测量本建议书的 BER 值。

然而，可能还需要测量卫星系统的 BER 值，以便与建议 1 的 BER 值比较。

这样做还能做 BER 测量与 ITU-T G.821 建议书参数测量之间关系的研究。假如情况是这样的话，始终如一地采用测量 BER 对应时间百分数的方法是可取的，因为积分周期对测得的结果有影响。图 4 证明了这一原理，那里对于同一组测定的数据应用了 2 h、1 h、15 min、1 min、10 s、2 s 和 1 s 的积分周期。

因此，为确保能对不同测试所获得的结果进行比较，建议采用下列算法。

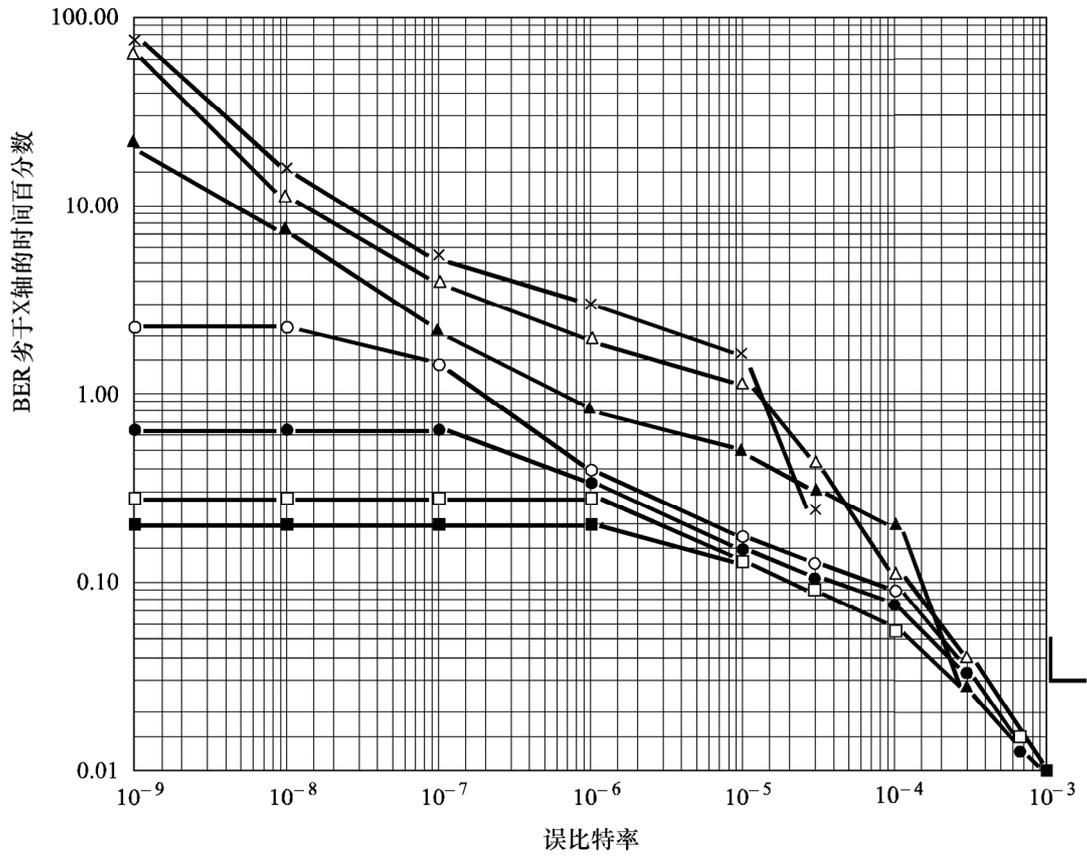
3.4.2 测量算法

为达此目的已研制了两种算法，即

- a) 数据收集算法，系专用测试设备典型的一般算法。因此该算法与大多数现有测试设备所用的算法相类似。
- b) 数据分析算法。

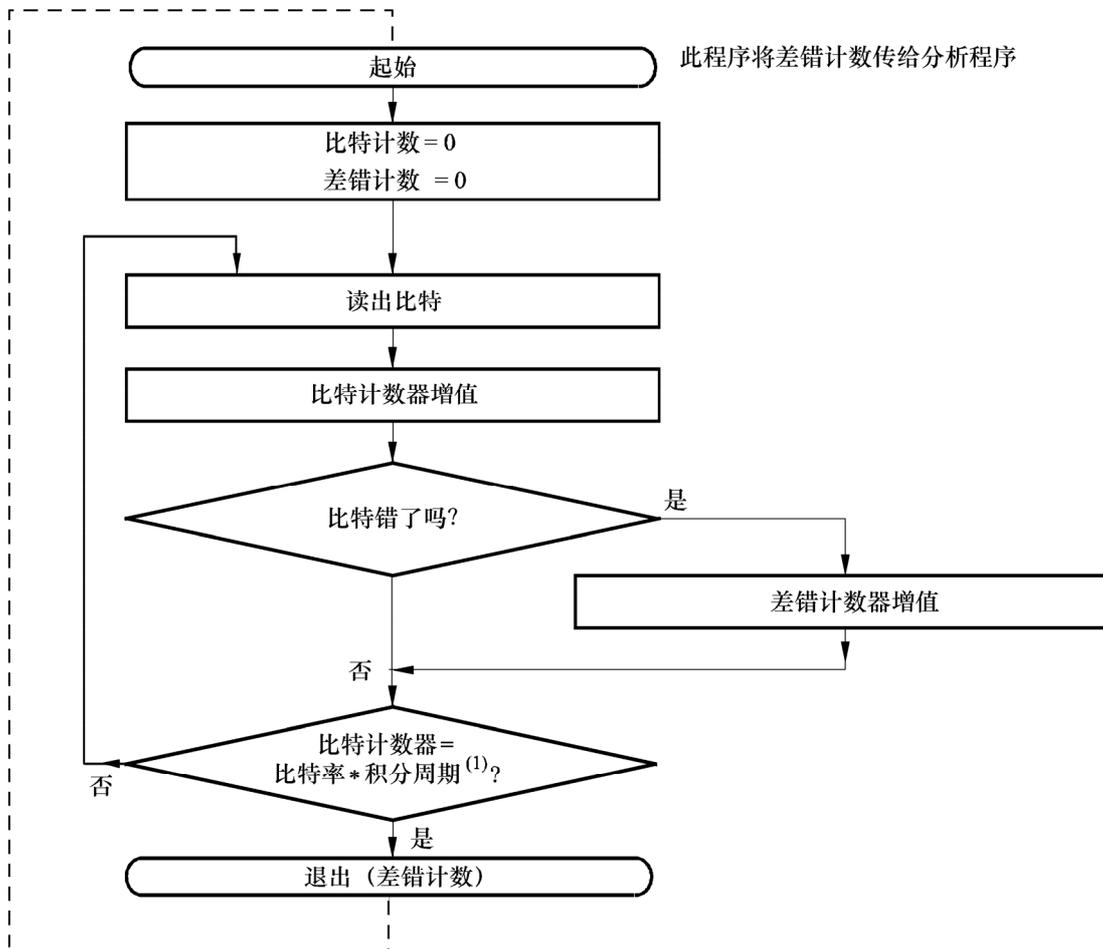
图 4

BER 测量与 ITU-T G.821 建议书参数测量之间关系的研究



各算法必须使用相同的积分周期（和比特率）。各种算法的流程图描述如下：

a) 数据收集算法



⁽¹⁾ 编写该算法时，假设采用1 s的积分周期，使本建议书与ITU-T G.821建议书的原理相一致。

注 1 — 在上述算法中, 变量名前使用“!”表示该变量应做静态处理, 即在任何测试期间, 这个数值应在该程序每次调用之间予以保持。对给定的变量“!”一般只用一次, 以后出现该变量名时都应按同一方法处理。

注 2 — 之所以需要数值 10^7 /比特率是为了能排除无差错周期。

注 3 — 之所以需要这个程序是为了排除 BER 分析中的不可用周期, 直到可用时间恢复为止。进一步的资料见 ITU-T G.821 建议书。当重新进入 ITU-T G.821 建议书定义的可用时间时, 变量! 不可用 (! Unavail) 应复位到“假”(false)。

注 4 — 该程序可用于任何比特率。在测量 64 kbit/s 电路时, 可实现 ITU-T G.821 建议书和 ITU-R S.614 建议书之间可能达到的最好比较。

注 5 — 三个计数(!计数 3、!计数 6 和!计数 7) 应除以总测量的持续时间, 然后乘以 100, 得出每一 BER (10^{-3} 、 10^{-6} 和 10^{-7}) 的时间百分数, 以便与 ITU-R S.614 建议书中所述的指标做比较, 例如

$$\text{BER} > 1 \times 10^{-3} \text{ 的时间} \% = \frac{\text{!计数3}}{\text{测量持续时间}} \times 100$$

4 典型卫星链路性能的若干例子

本节提供三个不同卫星数字传输系统的预测数字性能的计算结果:

- 6/4 GHz INTELSAT-V 120 Mbit/s TDMA,
- 14/11 GHz EUTELSAT 120 Mbit/s TDMA,
- 14/11 GHz INTELSAT-V 120 Mbit/s TDMA (采用上行链路功率控制和位置分集)。

选择这些系统是基于它们是现有的或是典型的 6/4 GHz 和 14/11 GHz 频带卫星系统。这些系统可用做未来 ISDN 连接中卫星部分的设计指南。取决于诸如仰角、降雨气候和干扰情况等因素, 可能出现不同的性能特性。在设计卫星 ISDN HRDP 时, 提请系统设计者全面考虑这类因素。

链路预算计算结果是作为最坏月份总时间百分数函数的误比特率曲线。使用这些曲线, 可以深入了解 ISDN 性能指标对卫星系统设计的关系。

§ 4.3 还包括对 Bercenay-en-Othe (法国) 与 Trou-Biran (法属圭亚那) 之间的 64 kbit/s 业务信道链路进行测量的结果。进行了一年多的测量, 平均每月有 445 h 的测量记录。

4.1 衰耗模型

在这次 INTELSAT-V 系统计算作业中所用的衰耗模型是 ITU-R PN 系列提供的方法的一次应用。使用这种方法, 可以计算出地球站站址的斜径降雨衰耗年度统计的百分数。这些统计数使用若干参数进行推导的。这些参数为:

- 降雨气候 — 特定的, 年平均 0.01% 的点降雨率,
- 地球站的平均海拔高度,
- 地球站对卫星的仰角,
- 地球站纬度。

采用这些参数，可计算出超过全年 0.01% 时间的降雨所引起的衰耗。全年其他百分比时间的衰耗值用下列方程式确定：

$$A_P = b A_{0.01} P^{-a}$$

其中：

- A_P : 所涉及全年百分比时间的衰耗，
- $A_{0.01}$: 全年 0.01% 时间的衰耗，
- P : 所涉及的全年时间的百分数，
- a 和 b : 常数。

这些年度衰耗数值可用下列关系式与“最坏月份”期间衰耗相联系：

$$P_y = 0.29 P_w^{1.15}$$

其中：

- P_y : 全年时间的百分数，
- P_w : 最坏月份时间的百分数。

图 5 所示的 INTELSAT-V 性能曲线是用此方法得出的。INTELSAT-V 6/4 GHz 性能假定从美国传输到意大利，双方的地球站都位于降雨气候“K”区，并且美国地球站仰角为 25°，而意大利地球站仰角为 21°。在 14/11 GHz INTELSAT 的情况中，发射地球站位于英国，仰角为 29°，接收地球站还是位于美国，仰角相同。英国地球站位于降雨气候“G”区，而美国地球站仍是位于降雨气候“K”区。

INTELSAT-V 6/4 GHz 链路预算计及了因地面、其他系统、邻信道以及同信道干扰源引起的干扰影响。假设具有极化鉴别和空间隔离的四重频率再用。已包括了在使用非线性转发器转移特性下，因上行链路衰落而使工作点变化所引起转发器输出功率的变化。

对 INTELSAT 14/11 GHz 系统，为了进行此项研究，假设以连续的方式施加 10 dB 上行链路功率控制。其他假设包括接收地球站采用距离为 20 km 的位置分集。仍然算了因上行链路衰落而使工作点变化所引起的转发器输出功率的变化。这些 INTELSAT 系统曲线都未假设使用任何纠错编码。应当指出，所有 INTELSAT TDMA 终端都装备有可供选用的前向纠错系统，采用 7/8 率 BCH (128: 112) 分组码，对于 1×10^{-4} 输入误比特率，其编码增益至少为 3 dB。

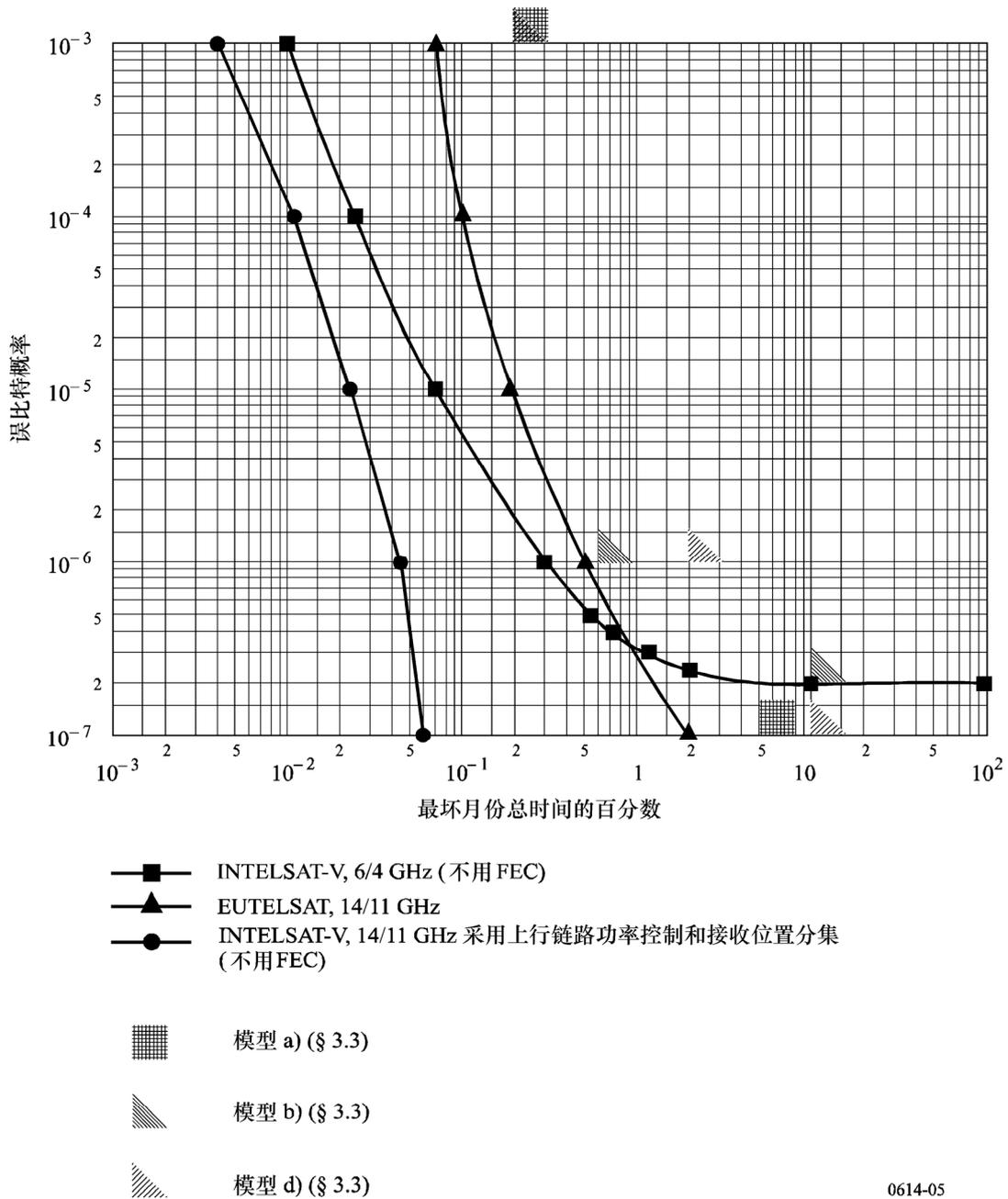
EUTELSAT 系统的性能是采用类似的方法推导出来的。所使用的衰耗统计对应于典型的欧洲大陆气候，而且以 OTS 所做的测量结果为基础。这些统计数字与 ITU-R PN 系列中标为“H”气候的相类似，但略为乐观。

4.2 关于短期指标的传播考虑

在 ITU-R 性能建议书中，某些短期指标是以全年的百分数表示的，而长期指标是以最坏月份的百分数列出的。ITU-T G.821 建议书的指标也是以大约一个月的周期时间的百分数列出的。从这些事实得出的结论是，在任何未来 ISDN 有关卫星的性能建议书中，可能需要使用月度衰耗统计数字。

做这种换算的资料包含在 ITU-R PN 系列中。从该资料可以看出，换算因子随气候和时间百分数而变化。对全年 0.01% 的时间，给出的因子为 4.5 到 6.5 之间，视气候而定。

图 5
误比特概率与最坏月份中总时间百分数的关系



0614-05

关于衰耗在不同频率上对传输预计产生的影响，可做一些一般的观察。

它们是：

- 对 10 GHz 以下的各频率，“长期”BEP 成为已试验过的一个 6/4 GHz 频率再用情况中的控制因素；
- 对 10-15 GHz 的各频率，假如不采用分集，“短期”（ 10^{-3} ）BEP 是控制因素。分集和非分集两种情况都做了分析；
- 对大于 15 GHz 的各频率，特别是在 30/20 GHz 上，“短期”（ 10^{-3} ）BEP 也很可能是控制因素。但没做过分析。

4.3 在 TELECOM-1 卫星上测量的结果

与图 3 中模型 a) 相似的链路特性如下：

- 链路预算是按对于 99.9% 的时间差错率优于 10^{-4} ，即晴天差错率约为 10^{-7} ；
- $E_b/N_0 = 14.00$ dB；
- 传输的比特率 = 8.768 Mbit/s，无直接纠错；
- 传输用 6/4 GHz 频带。

关于 DM 和 ES 的测试结果分别示于图 6 和图 7。所记录的 SES 是在 0.01% 和 0.02% 之间。

图 6
按月计的恶化分 (DM) 的分布

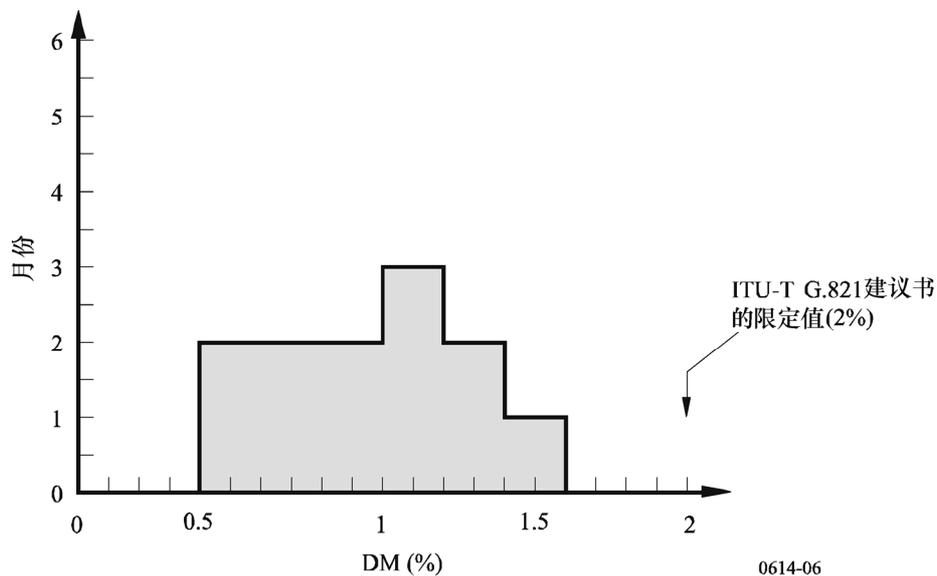
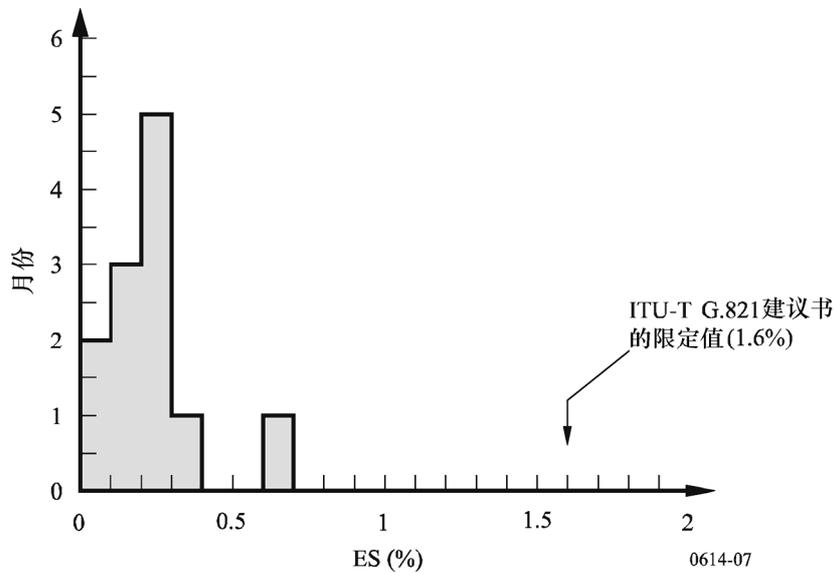


图 7
按月计的差错秒 (ES) 的分布



这些结果没有显示出 Trou-Biran 地球站所在的赤道区中遇到的闪烁现象所造成的不可利用率。

在测量期间观察到，太阳的干扰引起不可用时间的增加和严重差错秒的增加。（ITU-R S.579 建议书规定，与传播条件有关的任何现象引起的不可用率在任何月份中为 0.2%。）

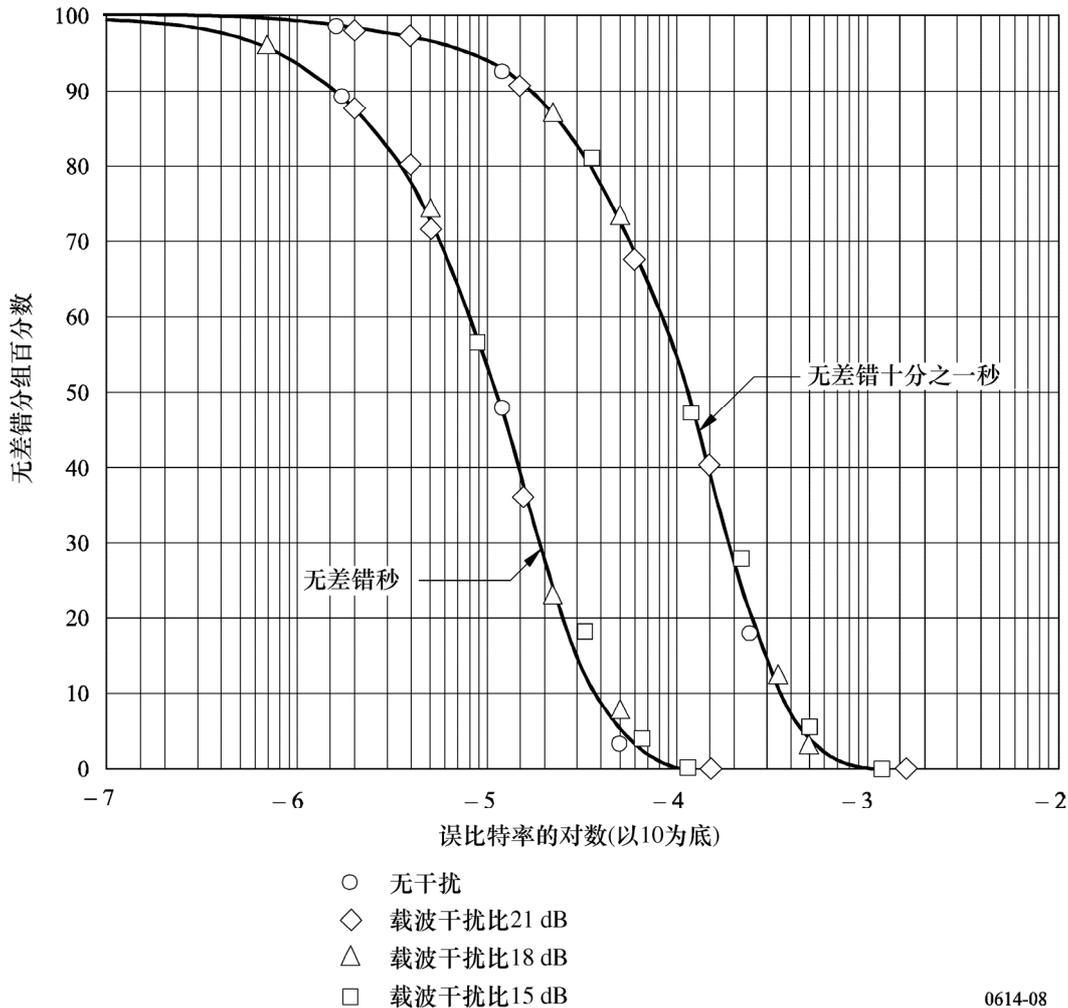
5 卫星链路上的差错分布以及非编码运行和采用前向纠错运行的效果

5.1 引言

本节给出的测定卫星链路性能是否足以满足 ITU-T G.821 建议书的要求的方法，是基于假设卫星链路产生的差错是随机出现的。对于不采用前向纠错（FEC）的链路，一般认为该假设是成立的。该假设的有效性实例在图 8 中给出。

图 8

无差错分组的分布: 64 kbit/s, 无 FEC 编码



对于采用 FEC 的链路，由于 FEC 译码器的工作，单个比特错误的分布必定是“突发的”或成串的。译码器输出端上差错成组出现，而组之间由较长的无差错时间间隔分开。每组或“差错事件”可定义为一个时间间隔，该间隔从一个比特差错开始到一个比特差错结束，其间有若干个比特差错。这些“差错事件”长度不同，并且在这些间隔内的 BER 可高达 0.5。已向 ITU-R 提交的数据表明，这些“差错事件”的出现是随机的，因此可用二项式或泊松统计法模拟。

所设的随机差错的实例见图 8。显示了现场测量的结果，它比较了无差错间隔（EH）（无差错秒、无差错十分之一秒）的分布与泊松误比特分布。实测数据与理论分布的一致性是显然的。该数据还表明，对于因热噪声和热噪声加干扰而恶化的系统，该一致性也同样成立。这些测量是通过 120 Mbit/s 卫星 TDMA 链路的环路在 64 kbit/s 子信道上进行的。该系统是在来自相似连续 120 Mbit/s 载波的同信道干扰的各种条件下工作的。

已表明，对数字卫星链路上的主要差错起作用的是可用泊松分布描述的传播和干扰效应。然而，当前向纠错（FEC）（用于许多数字卫星系统以改善性能）应用于数字信道时，到达译码器输出端的差错往往成组地出现，因而可能不合乎泊松分布律。这个聚集成组效应可用图 9 中给出的无差错间隔测量中说明。与泊松分布律不符的程度将取决于所使用的具体编码方案和多路复用方案。

本节提供典型编码方案的例子，给出表明具体 FEC 方案对数字卫星链路的影响的测量结果，并介绍可用来描述突发性的初步数学模型。

5.2 典型的 FEC 编码方案的特性

5.2.1 7/8 率 BCH 编码

7/8 率博斯—乔赫里—霍克文黑姆 (BCH) FEC 编码目前被用于数字卫星系统，例如 INTELSAT 120 Mbit/s TDMA 系统。该分组码在 127 比特码组中最多可纠正 2 个错和检测 3 个错，不过在后一种情况下译码器不采取行动。因此，一个 BCH 码组在译码器输出端含有的最大可能的差错数为 3 个。在此编码方案中，由 128 个比特的分组组成的比特流，是以 112 个信息比特加上 15 个冗余编码比特和 1 个空白比特重新构成分组的，从而使分组总长度保持在 12 比特。所以，在编码过程中，一条最初以子突发 (sub-burst) 形式出现的特定 64 kbit/s 信道的 128 个连接比特，将按下列 7 种方式之一进行分割。

- | | | | |
|-----------|----------|-----------|----------|
| a) 112:16 | b) 96:32 | c) 80:48 | d) 64:64 |
| e) 48:80 | f) 32:96 | g) 16:112 | |

因此，各单独的信道可表现出 4 种不同程度的突发性，其中 a) 和 g) 为突发性最高，d) 为突发性最低。

5.2.2 卷积编码—维特比译码

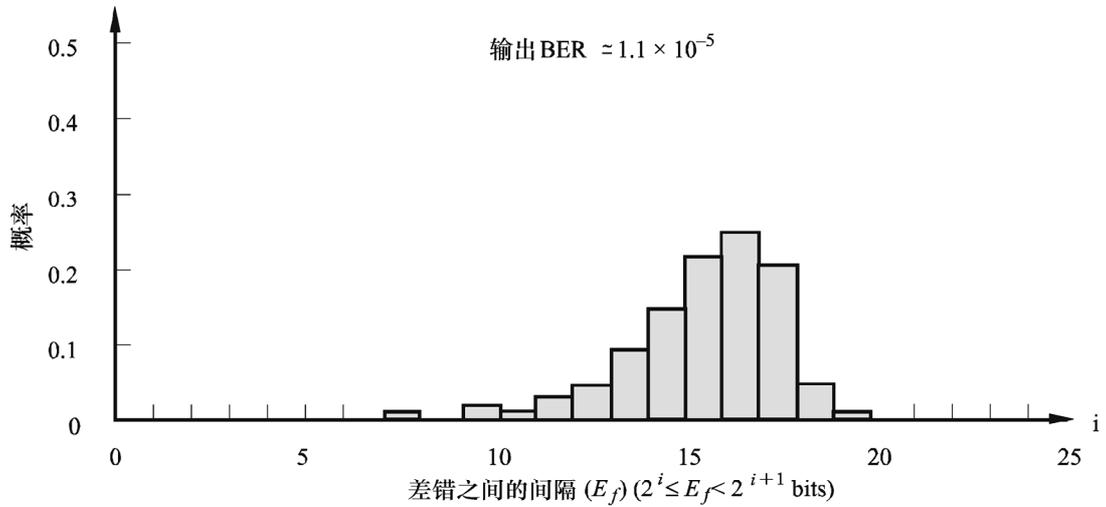
卷积编码技术与维特比译码技术的结合也是许多卫星系统正在采用的一种典型的 FEC 方案。

此方法就是把数字序列存入存储器，然后把这些序列与已收到的数字流做比较，以确定哪一个最可能为正确的。译码器输出端的差错事件是由于选择了不正确的数据序列或路径而造成的。这种不正确的选择导致在译码器输出端发生差错，但这些差错未必连续发生。差错事件的长度随编译码器结构尤其是路径存储器的长度而变。在维特比译码的情况下，约束长度为 7 的 1/2 率 64 状态码具有的路径存储器长度典型的为 37 比特。此路径存储器长度大于发生概率很大的任何差错事件。

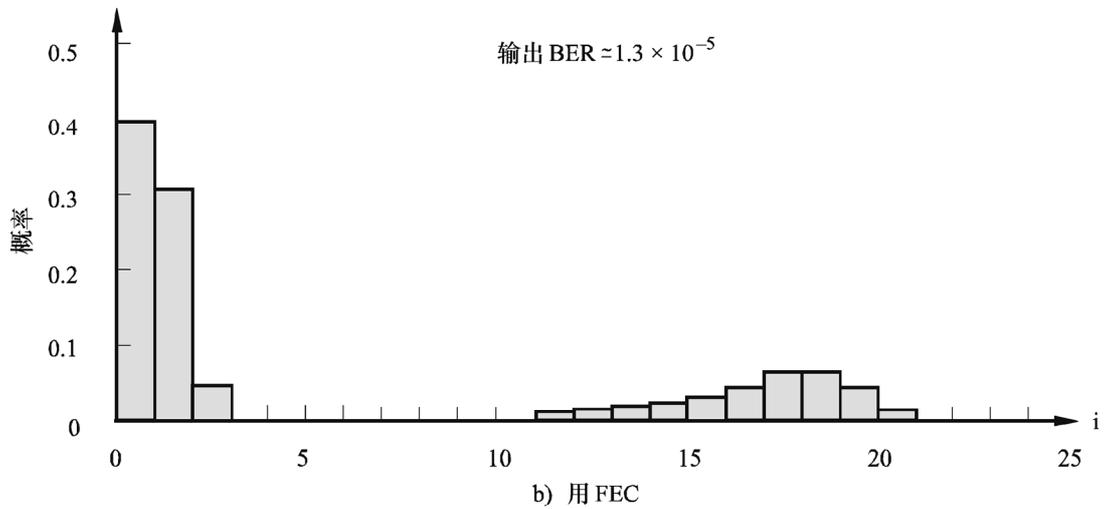
图 9 按照无差错间隔表示了不用和用 FEC 时差错分布的典型实验结果。

图 9

用和不用 FEC 时的差错分布



a) 不用 FEC (随机差错)



b) 用 FEC

((K = 7) 的 1/2 率卷积编码和维特比译码)

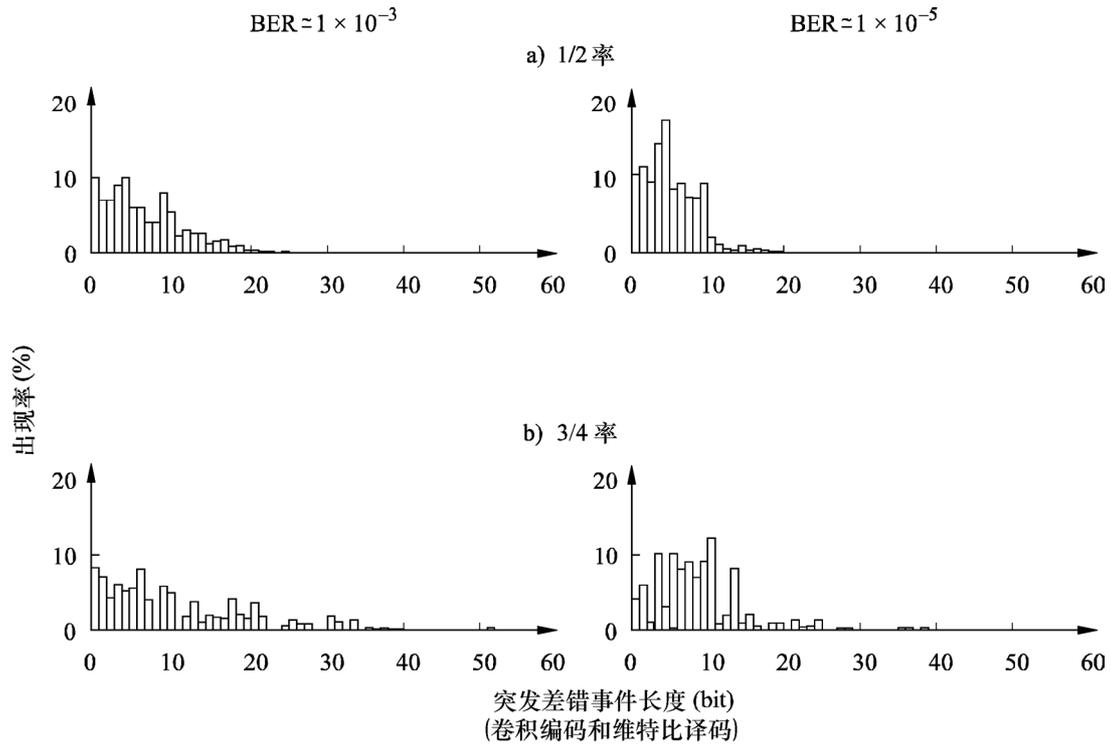
0614-09

两种情况差异甚大，前者有一个峰这是典型随机分布的，而后者有两个峰。一个峰（右侧）表示突发差错之间的时间间隔分布，而且意味着其出现是随机的。另一个峰（左侧）表示一个突发差错内的误比特分布。

图 10 给出有关 1/2 率和 3/4 率在两种 BER 值时的突发差错长度分布的实验结果。差错突发事件长度定义为该突发中出现的第一个差错与该突发中出现的最后一个差错之间的比特数。图 11 表示平均突发差错长度与译码后 BER 之间的关系。

图 10

突发差错事件长度的分布



0614-10

从这些图可以看到，随着码率和 BER 的增加，差错突发事件的持续时间就增加。一般说来，1/2 率和 3/4 率码的差错突发事件的平均长度分别约为 5 和 10 比特。少数突发差错事件的长度超过 20 比特。要注意的是，一个差错突发事件中并不是所有比特都是错的。一个差错突发事件中的差错率可认为约 1/2，即 1/2 率码的一个突发差错事件内含有的平均差错数为 2 个或 3 个，而 3/4 率码约为 5 个。上述实验是用 INTELSAT E1 标准地球站以卫星环路方式采用 64 kbit/s IBS 载波进行的。

作为上述讨论的结果，译码后的 BER 由下式给出：

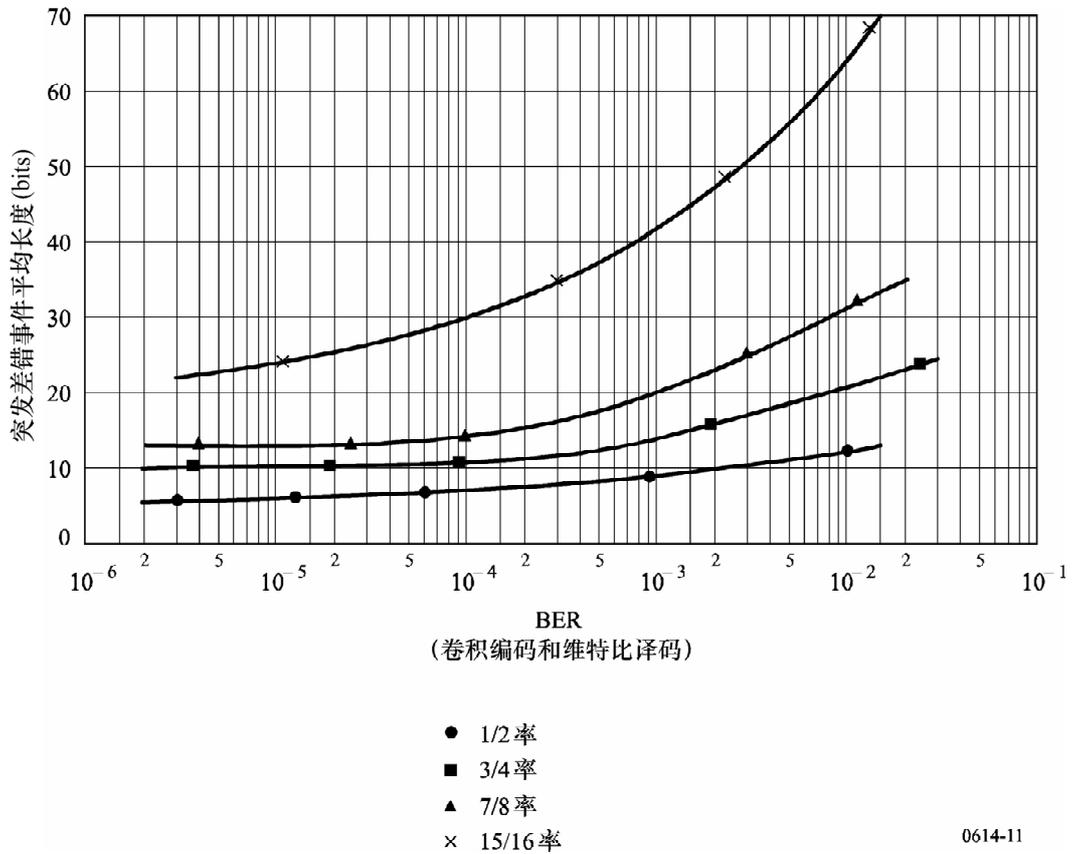
$$P_e(\text{译码后的 BER}) = \frac{L_b/2}{L_b + E_{fb}}$$

其中，突发差错之间的平均时间间隔 E_{fb} 可推导为：

$$E_{fb} = \left(\frac{1}{2P_e} - 1\right)L \approx L_b/2P_e$$

L_b 为突发差错的平均长度。

图 11
突发差错事件平均长度与 BER 之间的关系



0614-11

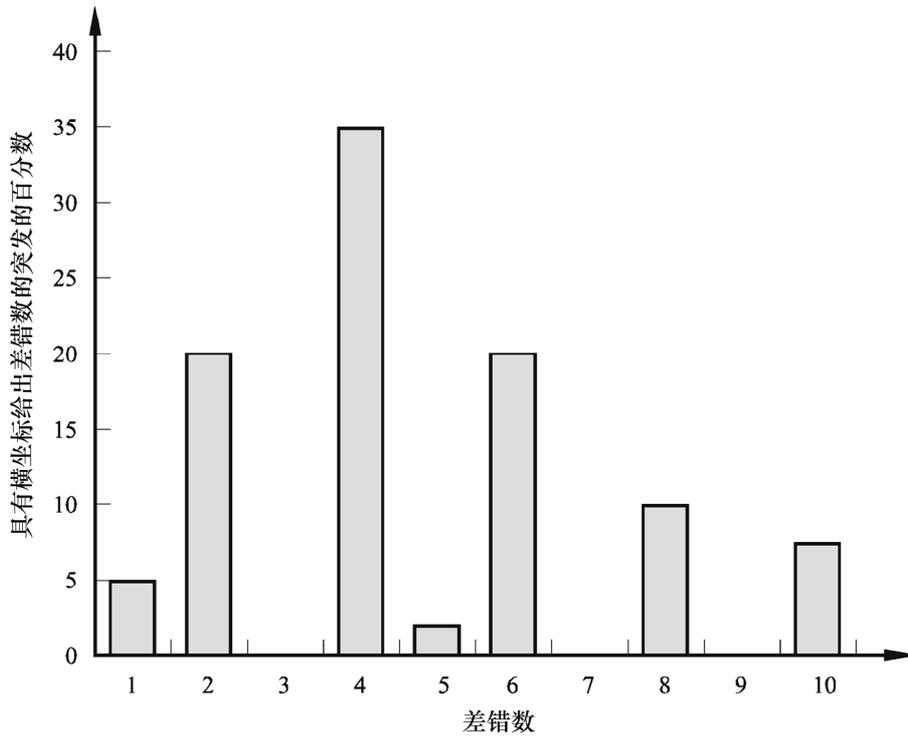
需要考虑的另一个效应是突发差错结构对 64 kbit/s 信道在一次群速率 (2048 kbit/s) 或更高速率上的多路复用的依赖关系; 当 BER 为 10^{-6} 时, 这个关系如图 12a 和 12b 所示。图 12a 是按照 ITU-T G.704 建议书多路复用的 2048 比特流中的 1920 kbit/s (30 时隙) 复合信号的每一突发的差错数的矩形图。然而, 在单独的 64 kbit/s 信道内, 每一突发的差错数往往较小, 如图 12b 所示。

5.2.3 卷积编码—序列译码

序列译码采用概率译码算法, 它仅对已检验过的路径做路径长度计算, 判定哪条路径要延长仅以已检验过的路径长度为依据。

图 12a

每一突发的差错数的矩形图

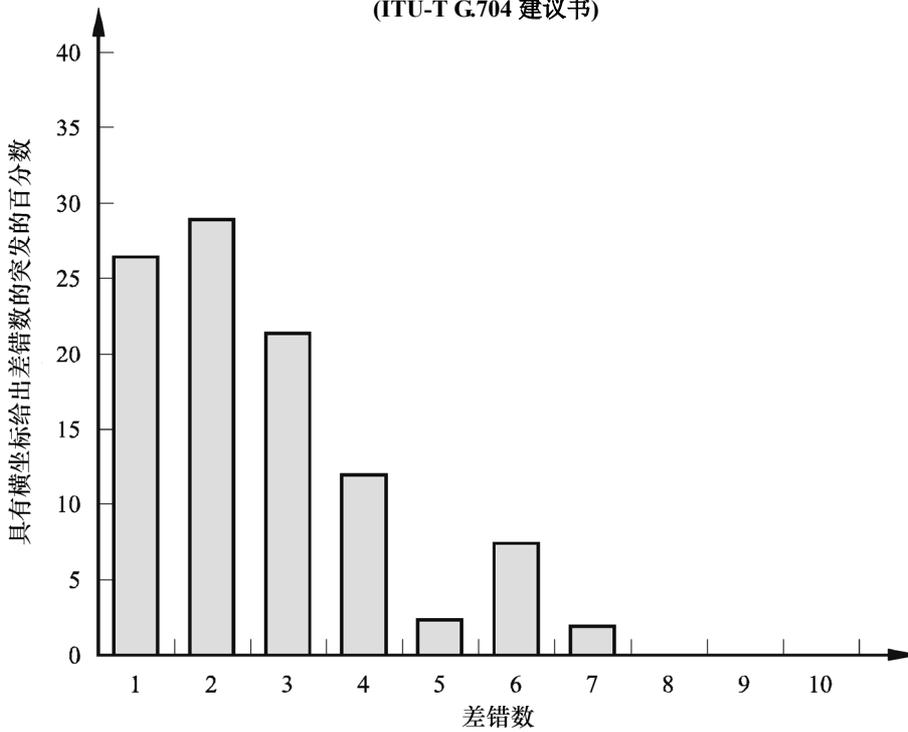


BER = 10^{-6}
在 2 048 kbit/s 比特率上使用 FEC (1/2 率)

0614-12a

图 12b

2 048 kbit/s 一次群速率上多路复用内一个 64 kbit/s 信道的每一突发的差错数的矩形图
(ITU-T G.704 建议书)



BER = 10^{-6}
在 2 048 kbit/s 一次群速率上使用 FEC (1/2 率)

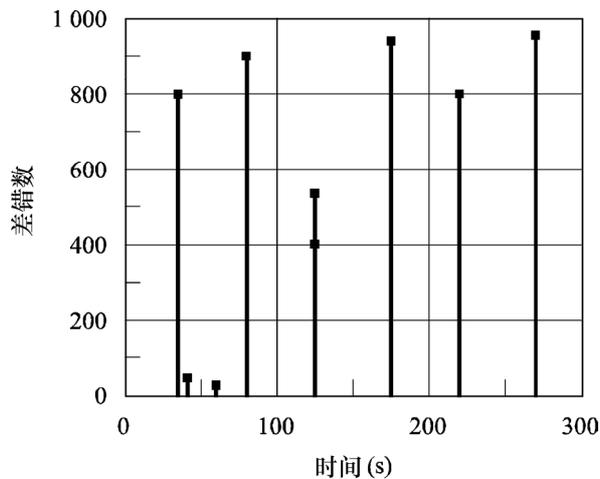
0614-12b

维特比译码在计算上的复杂性随约束长度按指数律增加,而序列译码允许的约束长度要长得多,使 BER 得到显著的改善。这是因为在卷积码中, BER 随约束长度按指数律下降。

在各种序列译码算法中,常用的是费诺算法和堆栈算法。本小节与后一种算法有关。译码器输出的差错主要是由于堆栈缓冲器溢出和/或译码超时造成。

图 13 所示为使用堆栈算法,工作在 64 kbit/s 信息率的 1/2 率序列译码器译码误比特率约为 3×10^{-4} 时的差错分布例子,可以看出,译码器输出含有一些每个远远超过 65 比特的长突发差错,而长突发差错之间几乎没有随机差错。

图 13
序列译码器输出端的差错的分布



0614-13

5.3 对恶化分、严重差错秒和差错秒的影响

5.3.1 定性讨论

由卷积编码 FEC 引起的突发差错的影响如下:

恶化分 (DM)

一个 DM 含有 5 个或更多差错。在经常引起具有 5 个或更多差错的突发差错的 3/4 率维特比译码的情况下,与随机差错相比,即使平均差错率相同,DM 的概率可能增加。在 1/2 率维特比译码情况下,这种增加可能小些。

严重差错秒 (SES)

一个 SES 含有 65 个或更多差错。因为由 FEC 引起的一个突发差错事件中的差错数远低于 65 个,一个 SES 将含有几十个突发差错。这可能造成突发差错与随机差错之间 SES 的概率无明显差别。

差错秒 (ES)

当差错成群发生时,和采用 FEC 的信道一样,在平均差错率相同的条件下,与随机差错相比,ES 的概率将减小。

突发差错的影响将较小,因为大多数卫星链路复用了许多信道,并且因为突发差错是分散于这些复用信道中的。

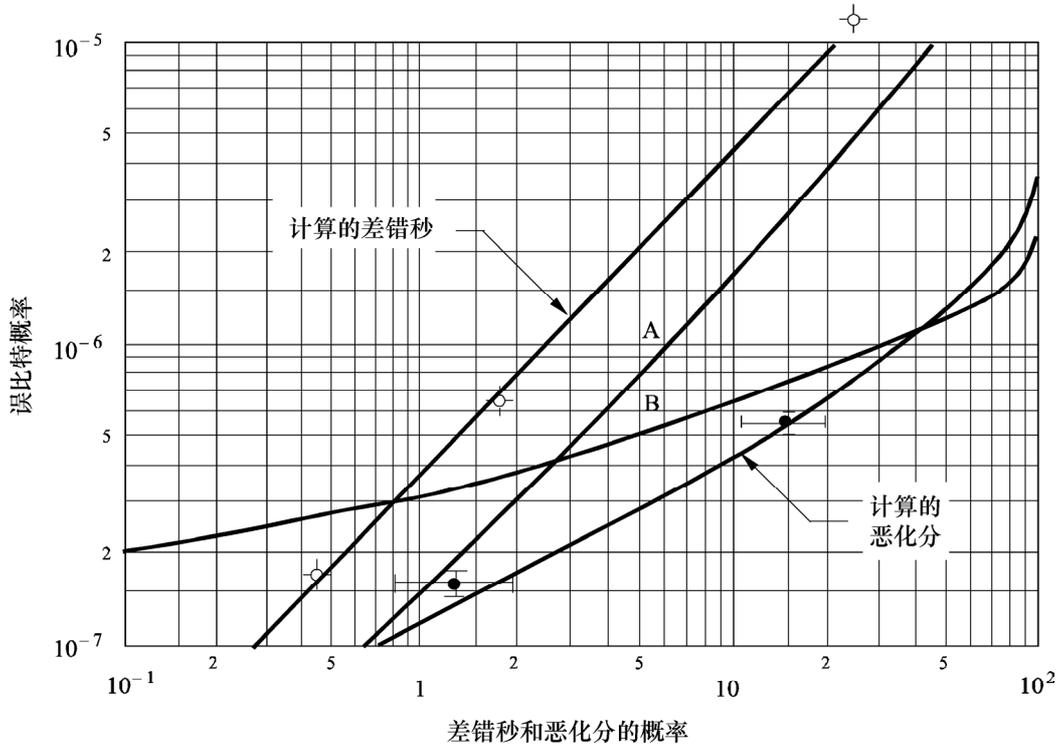
5.3.2 测量

5.3.2.1 BCH 编码

在 EUTELSAT 120 Mbit/s TDMA 业务终端进行了测量,此终端以突发方式工作,在 IF 上构成环路并加有噪声。用 BER 分析仪产生 64 kbit/s 伪随机序列,并对差错秒、恶化分和严重差错秒的百分数按 ITU-T G.821 建议书进行了测量。

对两个与 § 5.2.1 情况 a) 和 d) 有关的时隙做了测量,发现差错秒和恶化分的统计明显偏离泊松律(图 14)。

图 14
64 kbit/s 时差错秒和恶化分统计



}
 时隙 a)

- 实测的差错秒 (7/8率BCH) 和置信区间
- 实测的恶化分 (7/8率BCH) 和置信区间

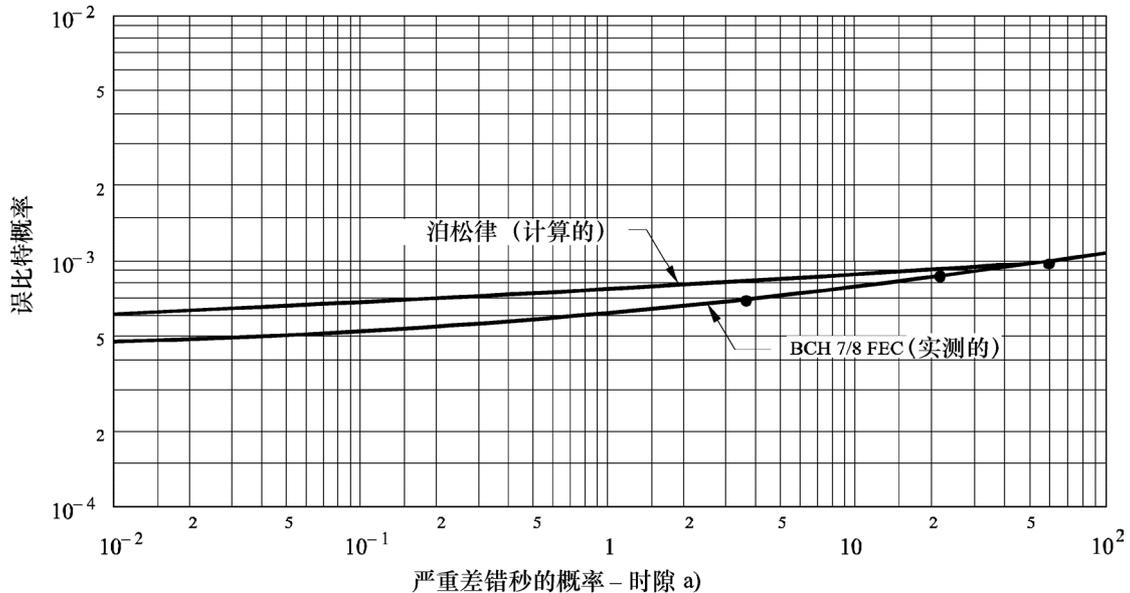
曲线A: 差错秒, 泊松律

B: 恶化分, 泊松律

对严重差错秒，当使用 FEC 时，在分布上可观察到有小的时间百分数的边缘漂移（图 15）。然而这种漂移相当小，即使计算的置信区间证明实际漂移已发生，在考虑分布的均匀性时也并不十分重要。

这些测量与 § 5.4.2 中所述的理论推算相当一致。

图 15
严重差错秒的概率



0614-15

5.3.2.2 卷积编码—维特比译码

对卷积编码—维特比译码已做了类似的测量，如图 16 至 19 所示。可看出，对 64 kbit/s 的 1/2 和 3/4 率以及对 2 048 kbit/s 复合流中一个 64 kbit/s 信道的 3/4 率的情况都测得了结果。

5.3.2.3 卷积编码—序列译码

图 18 中的正方形表示序列译码器在加性高斯白噪声 (AWGN) 信道中的差错秒 (ES) 和恶化分 (DM)。可以看出，序列译码器的 ES 性能优于无编码的系统，而结果类似于无编码的系统。然而，DM 性能与无编码的系统相差甚大，但与维特比译码的类似。

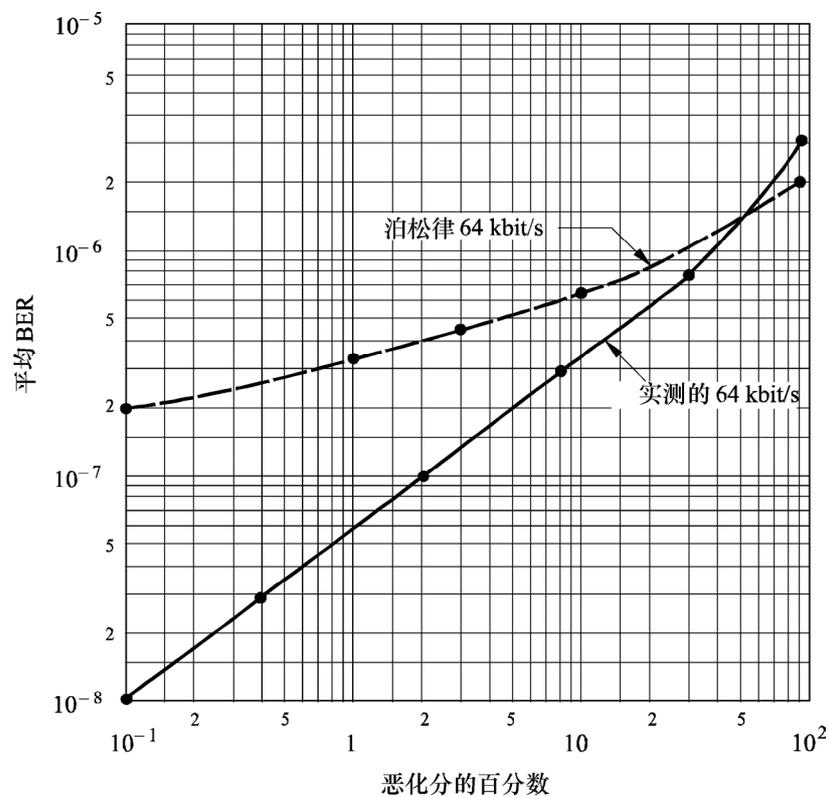
序列译码器的 ES 和 DM 两者性能都优于维特比译码的。如 § 2.3 所述，这是因为对于相同的平均 BER，序列译码器比维特比译码引起更长的、可能远超过数百比特的突发差错，并在长突发差错之间引起短的随机突发差错。

因此，序列译码器的 ES 优于维特比译码的 ES，因为后者引起一些随机差错和短突发差错。而且，由于 DM 的定义并不包括 SES 事件，所以序列译码器的 DM 性能优于维特比译码。

图 19 中的正方形表示序列译码器的 SES 性能。在中等到低的 BER 时，序列译码器的 SES 百分数逐渐下降，并劣于维特比译码的。这是因为序列译码器通常引起长于 65 比特的一些突发差错。

图 16

在 2 048 kbit/s 比特流中一个多路复用的 (ITU-T G.704 建议书) 64 kbit/s 信道的恶化分百分数
(符合 INTELSAT IDR 规范的 3/4 率 FEC, 自同步扰码器)



0614-16

图 17

在 2 048 kbit/s 比特流中一个多路复用的 (ITU-T G.704 建议书) 64 kbit/s 信道和 2 048 kbit/s 复合流的差错秒和无差错秒的百分数 (符合 INTELSAT IDR 规范的 3/4 率 FEC, 自同步扰码器)

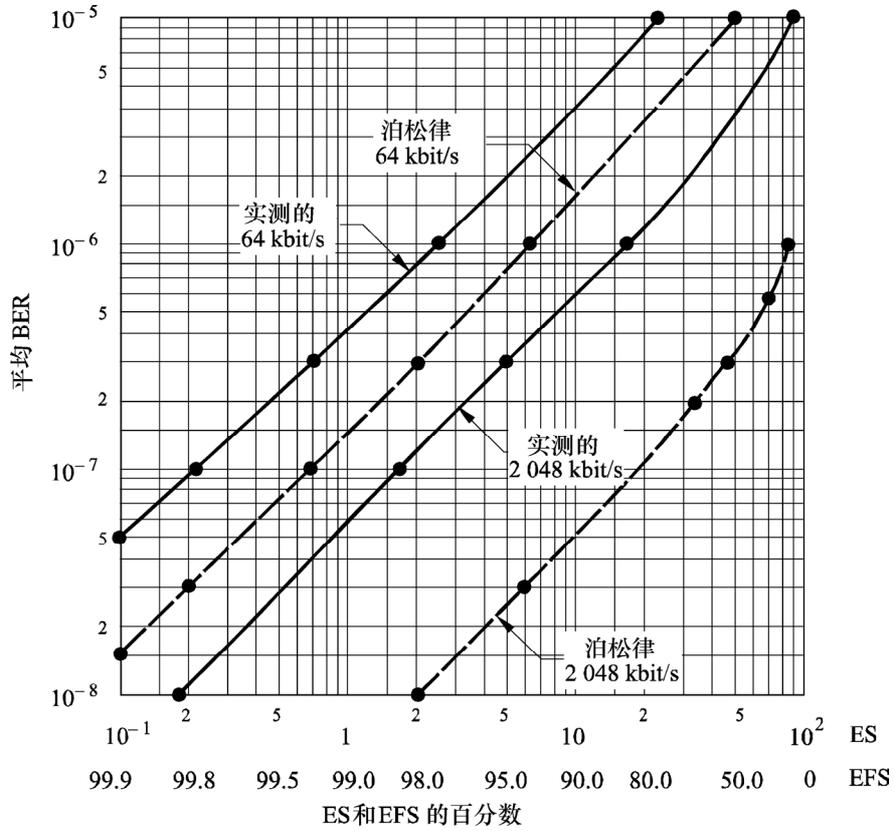
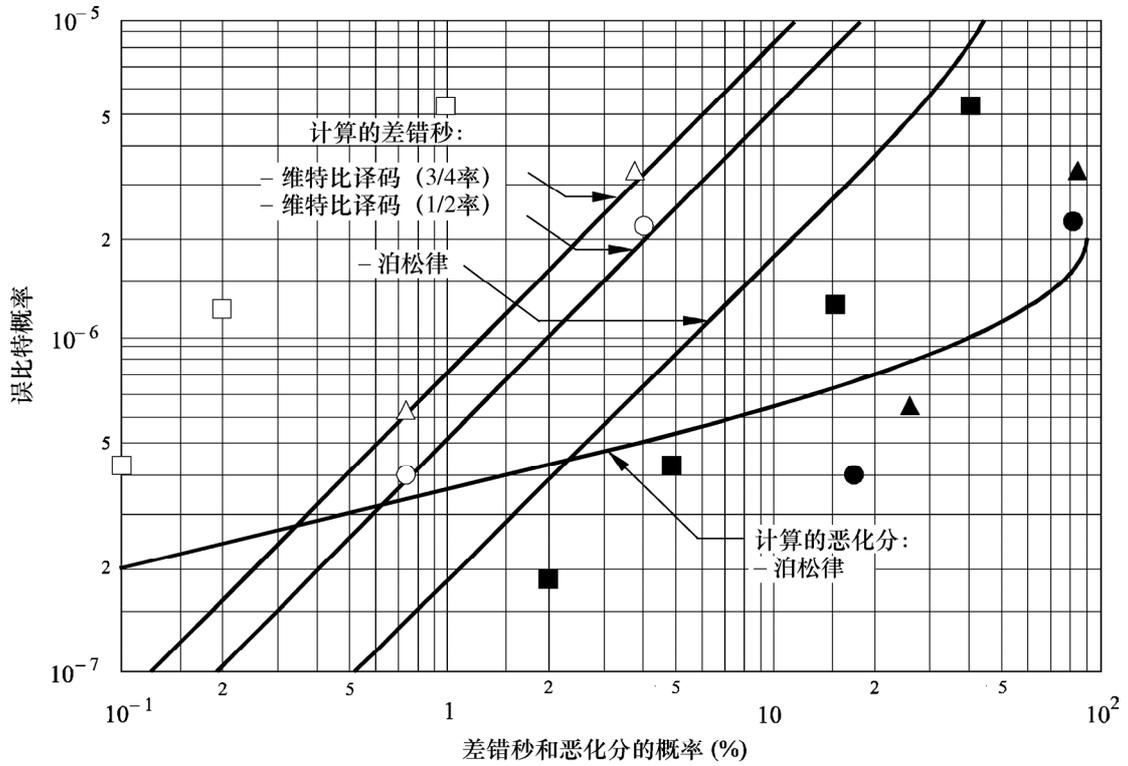


图 18

64 kbit/s 比特流的差错秒和恶化分的统计（无数据扰码或差分编码）

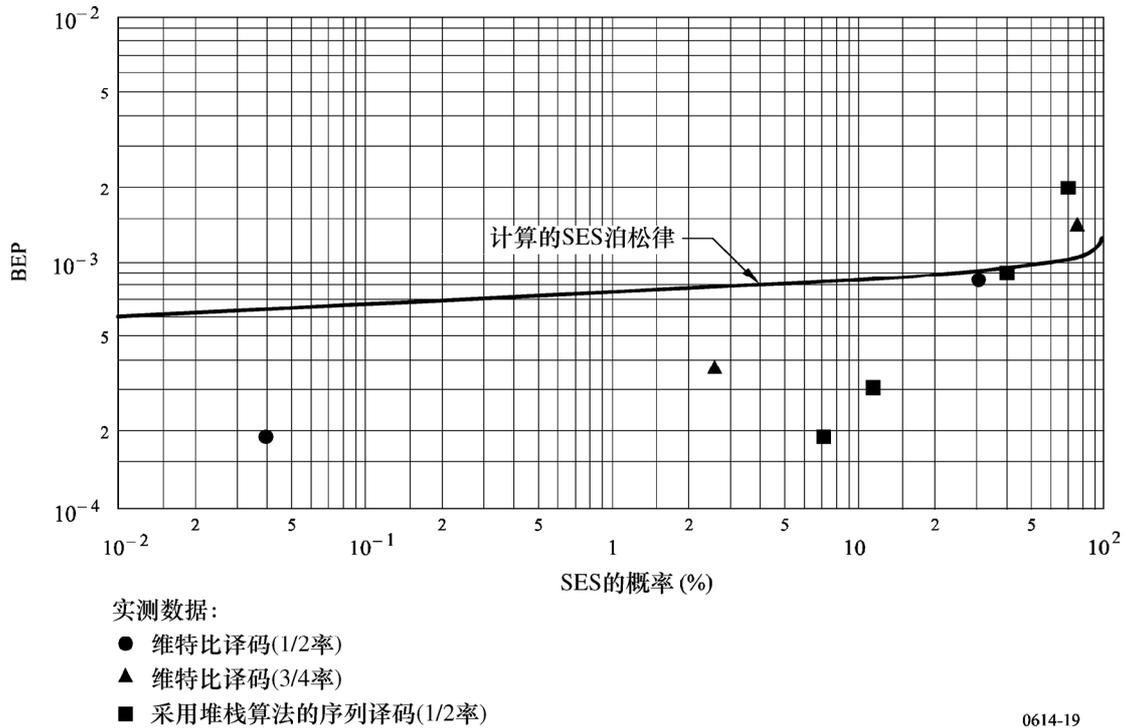


- 实测数据(差错秒):
- 维特比译码(1/2率)
 - △ 维特比译码(3/4率)
 - 采用堆栈算法的序列译码(1/2率)

- 实测数据(恶化分):
- 维特比译码(1/2率)
 - ▲ 维特比译码(3/4率)
 - 采用堆栈算法的序列译码(1/2率)

图 19

64 kbit/s 比特流的严重差错秒 (SES) 的概率



0614-19

5.3.3 定量分析

图 20 表示在称为 α 、 β_m 和 β_w 三种不同差错分布情况下, DM 的概率与 BEP 的关系。 α 情况为本附件所考虑的随机情况。 β_m 和 β_w 情况假设差错是成群的, 但突发本身则随机出现。 β_m 情况 (m 表示中等) 假设每一突发一贯有 3 个差错。 β_w 情况 (伽表示最坏) 假设每一突发一贯有 5 个差错。该图中给出了用来计算这些曲线的公式。实际上, 这些公式是适用于突发的泊松公式。

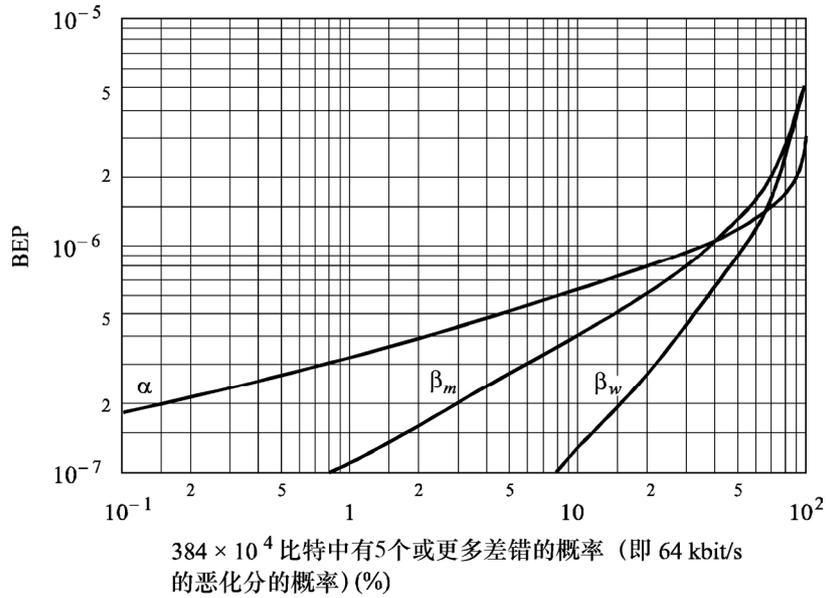
在低的 BEP 区域, 恶化分随突发性增加而增加。并且, 假如每一突发一贯有 5 个以上的差错, 则把接收突发的任何分钟以只有 5 个差错时一样的方法来计算恶化。但是, 假如每一突发有更多的差错, 则这些突发将被进一步分开, 并且更多分钟将是无差错的。因此 β_w 是该参数的最坏情况的分布。

假如图 10a 和 10b ($BER=10^{-5}$ 时) 的差错分布近似是均匀的, 而且差错突发的出现认为是独立事件, 就能计算出恶化分和无差错秒性能。

计算结果归纳于表 6。成双出错的情况, 对具有差分编码的系统来说是典型的, 也包括在该表中。这些计算是从 BER 的观点, 假设电路性能符合图 3 的模型 d) 而进行的。表 6 中的数值表明, 差错突发会大大影响按照 ITU-T G.821 建议书给出要求的数字电路的性能。然而, 这种分析并没有考虑多路复用结构的影响。在这方面需要进一步研究。在这类研究得出结果之前, 在系统的设计中利用 FEC 以满足 DM 指标时要注意。

图 20

假设误比特率恒定时恶化分的概率



α 情况: 随机差错信道

$$P(DM) = 1 - \left[1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} \right] e^{-x} \quad x = 384 \cdot 10^4 P$$

β_m 情况: 中等差错的突发性信道 (每一突发3个差错)

$$P(DM) = 1 - (1 + x) e^{-x} \quad x = 384 \cdot 10^4 P/3$$

β_w 情况: 最坏情况的突发性信道 (每一突发5个差错)

$$P(DM) = 1 - e^{-x} \quad x = 384 \cdot 10^4 P/5$$

其中:

P: 误比特概率

P(DM): 恶化分的概率

0614-20

表 6

指 标	性能 (可用时间的百分数)				
	ITU-T G.821 建议书	单个差错	两个差错	差错突发 (1/2 编码)	差错突发 (3/4 编码)
恶化分	2.0	1.87	2.67	6.2	6.7
差错秒	1.6	1.56	1.4	1.2	1.16

5.4 数学模型的建立

为了证明一特定系统满足 ITU-T G.821 建议书的要求, 必须知道:

- BEP 随时间百分数的统计量;
- 用来描述 64 kbit/s 级的差错分布的数学模型 (考虑了所用 FEC 的类型和所用多路复用的方式), 通过它来计算 ES、DM 和 SES。

已研究了下述两种模型。

5.4.1 内曼-A (Neyman-A) 蔓延分布

能用来描述概率事件成群发生的一种统计模型是内曼-A 蔓延分布。特别是, 这种分布可描述由于传播和干扰对数字卫星系统的影响所出现的差错的突发性。应用此模型, 保证差错突发是互不相关的, 即其出现是随机的, 并且突发的持续时间也是随机的 (不过在有些 FEC 方案的译码器输出端, 差错典型的以 3 个或 4 个的突出现。而给定的多路分路信道上, 差错的实际平均数需要根据对该系统的了解而做出估算)。

内曼-A 蔓延模型为:

$$P(n) = \frac{(BEP/A)^n}{n!} e^{-NA} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K^n}{K!} (NA)^k e^{-kBEP/A}$$

其中:

$P(n)$: N 个发送的比特中发生 n 个差错的概率

NA : 突发的平均数

BEP/A : 每一突发的差错的均值。

于是 EFS 和 DM 的概率可分别由下式确定:

$$P(0) = e^{-NA} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(NA)^k}{k!} e^{-kBEP/A} \quad \text{其中 } N=64 \text{ kbits}$$

$$P(DM) = 1 - \sum_{n=0}^4 P(n) \quad \text{其中 } N=3.84 \text{ Mbits}$$

5.4.2 BCH 码的解析表示法

当传输系统为已知 (所用的 FEC 类型、多路复用方案等) 时, 不用测量便可推导出解析公式, 借以预测不同 BEP 时的 ES、DM 和 SES 参数的统计量。

诸如在 INTELSAT 和 EUTELSAT 120 Mbit/s TDMA 系统所使用的 BCH 7/8 FEC 的情况, 可推导出解析公式和做出预测 (见表 7)。

表 7

计算差错秒 (ES) 恶化分 (DM) 和严重差错秒 (SES) 的百分数的公式汇总

ES 百分数	$P=100 \times \{(1-e^{-L})\} \times u$ $L=\text{BEP} \times 42\,333.3$ $u=0.667$ 对于情况 a) $u=0.881$ 对于情况 d)
DM 百分数	$P=100 \times \{1-(1+L+L^2/2! \times (1-u_2)+L^3/3! \times (1-u_3)+L^4/4! \times (1-u_4)) \times e^{-L}\}$ $L=\text{BEP} \times 2.54 \times 10^6$ $u_2=0.227$ $u_3=0.506$ $u_4=0.702$ 对于情况 a) $u_2=0.111$ $u_3=0.510$ $u_4=0.713$ 对于情况 d)
SES 百分数	$P=100 \times \{1-(1+L+L^2/2!+\dots+L^{38}/38!) \times e^{-L}\}$ $L=\text{BEP} \times 42\,333.3$

5.5 对 14/11 GHz 频带系统设计的影响

对于工作于欧洲气候地带的 14/11 GHz 系统,非编码的卫星链路情况,ITU-R S.614 建议书中规定的特性罩的限定标准为“长期”BEP。这是因为,为了达到 10^{-7} 和 10^{-3} 的 BEP,地球站解调器输入端所要求的 C/N 之差大于对应的最坏月份(总的)10%和 0.2%的预计衰落电平之差。

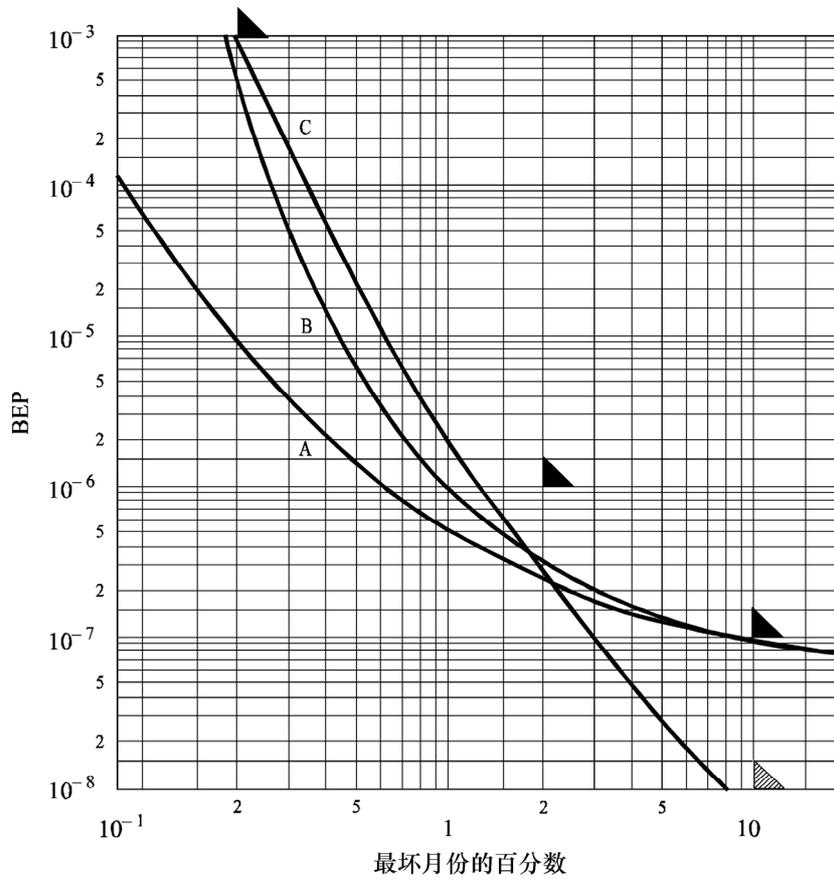
作为说明,图 21(曲线 A 和 B)示出了工作于 14/11 GHz 频带系统的性能,该系统的特性完全符合 10^{-7} 的“长期”标准。曲线 A 和 B 是指,当该系统受到典型统计的欧洲沿海气候(曲线 A)和阿尔卑斯山脉/地中海气候(曲线 B)的传播影响时,以时间百分数表示的性能。

使用 FEC 的情况,需要更加仔细的分析。一方面,由于编码增益的缘故,两个等级的 BER 其在解调器输入端所需的 (C/N+D) 之差较非编码情况为小,这势必制约了在“短期”要求上的设计;另一方面,对于最坏月份的 10%时间需要优于 10^{-7} 的 BER 性能,以补偿差错出现的突发性,并且这对晴朗天气条件提出高的性能要求。

图 21 和 22 说明了上述情况:图 21(曲线 C)表示采用 BCH 7/8 分组码的卫星链路的性能;图 22(曲线 A 和 B)分别表示了采用 1/2 和 3/4 率 FEC 卷积编码的链路的性能,这时系统设计为恰好能满足在阿尔卑斯山脉/地中海气候(欧洲的最坏情况)传播统计条件下的“短期”标准。

图 21

设计为正好满足本建议书各项指标的工作于 14/11 GHz 频带的系统的性能



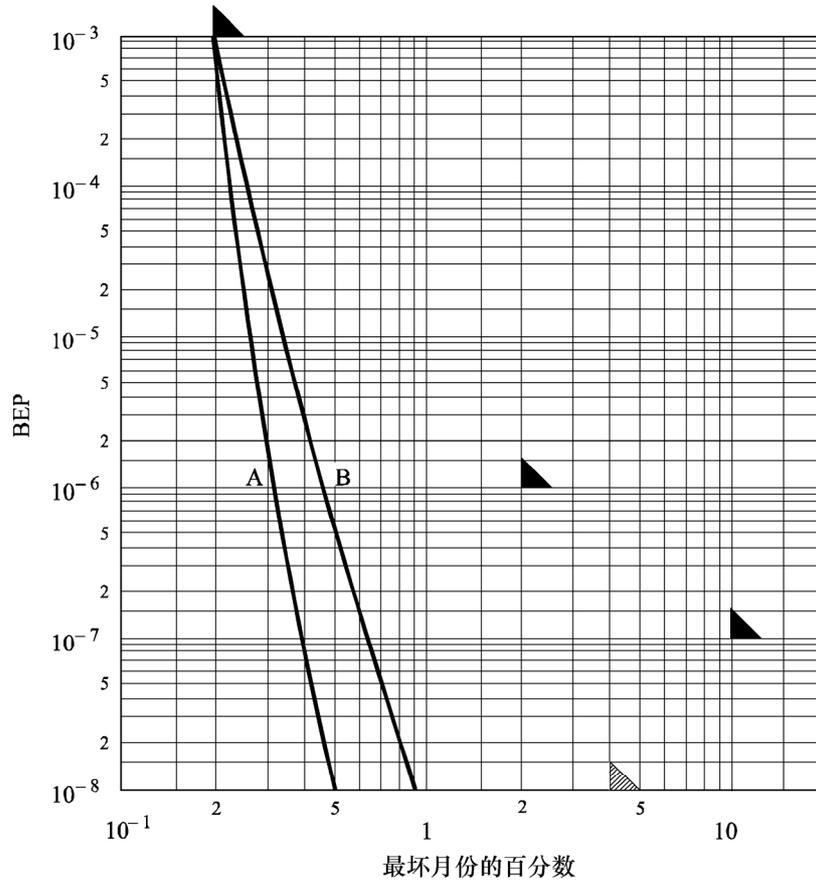
▲ 本建议书推荐的值

▨ BCH 编码

曲线 A: 不用FEC	欧洲沿海气候
曲线 B: 不用FEC	阿尔卑斯山脉/地中海气候
曲线 C: BCH 7/8 FEC	阿尔卑斯山脉/地中海气候

图 22

设计为正好满足本建议书各项指标的工作于 14/11 GHz 频带的系统的性能



▲ 本建议书推荐的值

▨ 卷积编码

曲线A: 1/2卷积FEC阿尔卑斯山脉/地中海气候

曲线B: 3/4卷积FEC阿尔卑斯山脉/地中海气候

5.6 结论

本章讨论了卫星通信系统采用若干类型的 FEC 时的差错分布特性及其对被用以定义 ITU-T G.821 建议书的恶化分、严重差错秒和差错秒的影响，并进行了分析：

- FEC，不论分组编码还是卷积编码，都使差错呈现突发性的分布；
 - 在平均 BER 相同的条件下，FEC 系统中的恶化分的概率可能较无 FEC 的系统为高；
 - 不管是否采用 FEC，BER 相同时，严重差错秒的概率无明显差别；
 - BER 相同时，FEC 系统中差错秒的概率较无 FEC 的系统为低；
 - 当卫星链路多路复用若干信道时，突发差错的影响可能减小；
 - 差错分布可用扩展的泊松分布做数学模拟。此项目尚需进一步研究。
-