

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R S.2131-1建议书
(01/2022)

**使用自适应编码
和调制确定卫星假设参考
数字路径性能目标的测定方法**

S 系列
卫星固定业务



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，并在不受频率范围限制的情况下进行研究，并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的监管和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2022年，日内瓦

© 国际电联 2022

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R S.2131-1建议书

使用自适应编码和调制确定
卫星假设参考数字路径性能目标的测定方法¹

(ITU-R 275和ITU-R 277-1/4号课题)

(2019-2022年)

范围

自适应编码和调制（ACM）的使用允许维持卫星连接，尽管由于传播而导致性能下降，但仍保持较低的吞吐量。此建议书为使用自适应编码和调制确定卫星通信系统的性能目标提供了一种方法。

关键词

自适应编码和调制、性能目标、卫星通信

首字母缩写词/术语表

ACM	自适应编码和调制
BBER	背景误块比
BEP	比特差错概率
BER	误码率
DVB	数字视频广播
DVB-S2	第二代卫星数字视频广播
DVB-S2X	第二代卫星数字视频广播的延伸
EB	误块
ES	误秒
ETSI	欧洲电信标准协会
FER	误帧率
HRDP	假设参考数字路径
HRX	假设参考连接
MODCOD	调制和编码
MPEG	活动图像专家组
PER	误包率
QEF	准无误码
SES	严重误码秒

¹ 其他性能评估方法和指标需要定性和定量分析，以确定这些方法和指标的有效性。

TDM	时分复用
TDMA	时分多址
C/N	载波噪声比 γ
E_s/N_0	符号能量噪声谱密度比
η	频谱效率 (bit/s/Hz)
ϕ_{total}	降级吞吐量百分比

相关的ITU-R建议书和报告

ITU-R S.614-4建议书	在综合业务数字网络中形成国际连接的一部分时，在15 GHz以下工作的卫星固定业务中的卫星假设参考数字路径的允许误码性能
ITU-R S.1061-1建议书	衰落对抗策略和技术在卫星固定业务中的使用
ITU-R S.1062-4建议书	工作在15 GHz以下的卫星假设参考数字路径的允许误码性能
ITU-R S.1878-0建议书	卫星系统的多载波传输技术
ITU-R S.2099-0建议书	可允许的卫星假设参考数字路径的短期误码性能目标
ITU-R S.2173-1报告	卫星系统的多载波传输技术
ITU-T G.826建议书	国际、恒定比特率数字路径和连接的端到端误码性能参数和目标

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) ACM和功放线性化的采用提高了卫星的效率和传输性能；
- b) 利用ACM技术的卫星系统将通过降低总吞吐量来适应降级的情况，因此不再提供恒定比特率服务；
- c) 卫星链路性能必须足以符合总体端到端性能目标和终端用户的要求；
- d) 在定义误码性能标准时，必须考虑所有可预见的引起误差的机制，尤其是时变传播条件和干扰，

注意到

- a) ITU-R S.614和ITU-R S.1062建议书规定了长期误码性能目标；
- b) ITU-R S.2099建议书规定了卫星通信中短期的定义和关于短期性能目标的信息；
- c) ITU-R S.1061建议书、ITU-R S.1878建议书和ITU-R S.2173报告规定了可用于抵消时变衰减的自适应传输和功率控制技术的信息；
- d) 卫星链路减损是由降级传播造成的，可以使用ITU-R P.618-13建议书和ITU-R P.1623-1建议书中给出的模型进行表征，这些传播建议书适用于高达51.4 GHz的频率，

建议

1 使用ACM的卫星系统的设计应符合性能目标，性能目标是由误包率（PER）或作为C/N函数的频谱效率（bit/s/Hz）所规定的；

2 以下注释应视为本建议书的一部分。

注 1 – 在使用PER的情况下，应使用附件第2.2节表3中给出的值。

注 2 – 在使用根据频谱效率给出的性能目标的情况下，按运行 γ 值测量的频谱效率（单位dB）不应少于 $\eta(\gamma - 1.0)$ ，其中， γ 是以dB表示的载波噪声比（C/N）， $\eta(\gamma)$ 是用bit/s/Hz表示的频谱效率，它是作为在附件第2.3节中定义的 γ 的函数。

注 3 – 假设在改变调制和编码（MODCOD）状态的1秒间隔内，系统能够容纳1 dB的C/N减少。这相当于非线性卫星链路的频谱效率（吞吐量或容量）降低了约10%。这种C/N的下降可能是由于任何外部噪音和雨衰的原因。

注 4 – 应该注意的是，在任何一年的特定时间百分比内，吞吐量的时间平均均未提供有关链路性能在任一年的充分信息。对总体性能的额外要求可以用吞吐量/频谱效率作为一年百分比的函数来表述。在使用ACM对链路性能进行总体评估时需要考虑这一潜在指标，且上述百分比可能需要进一步研究。

附件

使用自适应编码和调制的卫星 假设参考数字路径性能目标的测定方法示例

1 背景

现有的误码性能和可用建议书是在识别降级传播造成的卫星链路损伤的同时提出的，可以使用ITU-R P.618-13建议书和ITU-R P.1623-1建议书中给出的模型来描述。第3研究组的研究表明，这些传播方面的建议书适用于51.4 GHz以下，但对于频率高于52 GHz的倾斜路径没有相关建议书。根据这些信息，现有的误码性能和可用建议书适用于高达52 GHz的假设参考数字路径（HRDP）。

卫星设备制造商和运营商开发采用了自适应编码和调制（ACM）和功放线性化技术，提高了卫星的效率和传输性能。ACM的使用允许以较低的吞发率维持卫星HRDP，尽管传播能力下降。ACM技术在卫星传输系统中的应用见ITU-R S.2173报告和ITU-R S.2099建议书附件1的第2节。

1.1 恒定比特率HRDP的性能目标

ITU-R S.1062建议书规定了提供恒定比特率服务的卫星HRDP的性能目标。20世纪90年代初，在光纤和海底电缆普及之前，这些连接是卫星通信的典型。ITU-R S.1062建议书基于ITU-T G.826建议书的要求。这些要求是根据误块给出的，而不是独立的比特差错。ITU-T G.826建议书根据背景误块率（BBER）定义了性能目标，取决于服务速率，其值为 2×10^{-4} 至 1×10^{-4} ，最高3.5 Gbit/s，并且仅在可用时间内测量此BBER。ITU-T G.826建议书的表1部分复制如下表1，以供参考。

表1

ITU-T G.826建议书中定义的27 500 km
国际数字HRX或HRDP的端到端误码性能目标

速率	64 kbit/s	1.5至5 (Mbit/s)	> 5至15 (Mbit/s)	> 15至55 (Mbit/s)	> 55至160 (Mbit/s)	> 160至3 500 (Mbit/s)
比特/块		800-5 000	2 000-8 000	4 000-20 000	6 000-20 000	15 000-30 000
误秒率	0.04	0.04	0.05	0.075	0.16	
严重误码秒率	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
背景误块率		2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

在ITU-T G.826建议书内任何比特率下运行的通信传输系统中，无论高于或低于主速率，都与实际跨越的距离无关，国际部分的卫星中继段将分配到所有端到端目标的35%。如果卫星链路提供了国家部分，那么它将获得所有端到端目标的42%。例如，国际连接中， 2×10^{-4} 的BBER目标改为 $2 \times 10^{-4} \times 0.35 = 0.7 \times 10^{-4}$ ，而国家连接中改为 $2 \times 10^{-4} \times 0.42 = 0.84 \times 10^{-4}$ 。如果卫星从端到端提供完整的路径或连接，则适用表1中的目标。

块的大小也根据服务比特率定义。考虑到这一方面，ITU-R S.1062建议书根据BEP/ α 定义了性能目标，其中，BEP是比特差错概率， α 是每个突发的错误数。以下是运行于高达并包括155 Mbit/s的卫星系统定义的性能目标示例。

表2

ITU-R S.1062建议书中定义的性能目标

占总时间的百分比 (最差月份)	BEP/ α	$\alpha = 10$ 时 (BEP)
0.2	1×10^{-7}	1×10^{-6}
2	1×10^{-9}	1×10^{-8}
10	1×10^{-10}	1×10^{-9}

必须认识到，这种类型的卫星连接是为了提供一种高速率的永久连接，以提供一种高容量的洲际链路，主要承载电话或低速率的数据流量。这些链路通常通过在6/4GHz频段内运作的大型地球站进行路由，那里的传播干扰非常小。

目前，双向卫星连接主要承载互联网流量。这些连接通常是非对称的，具有发送可以使用时分复用（TDM）或时分多址（TDMA）技术的高比特率流的客户台站。用户站的传输速率远低于客户台站，且占空比较低。这类系统将利用更高频率的链路，为了有效地做到这一点，将依赖于ACM以实现高频谱效率的可靠吞吐量。在20 GHz以上的较高频率下，传播干扰远比在6/4 GHz频段内更为显著。

1.2 动态雨衰特性试验结果

据报道，Ku波段卫星系统的平均衰减斜率为0.24 dB/s²。图1显示了在韩国Ka频段卫星通信系统上测量的衰减斜率统计数据³。在图1中，A是雨衰深度（dB为单位）， ΔA 是衰减斜率（dB/s为单位）， $\overline{\Delta A}$ 是 ΔA 的平均值，且图上显示在所有衰减范围内，平均衰减斜率小于1 dB。

在有关DVB的文件171-14的第3节，利用DVB-S2试验台与ACM在卫星链路上进行的实验研究表明，Ka频段暴雨事件对应的最大衰减斜率通常不超过0.5 dB/s，因此，通常认为可以实现1 s ACM循环更新时间。实验结果表明，这是Ka频段的系统。此外，为了限制调制和编码（MODCOD）变化次数，考虑到DVB-S2相邻MODCOD水平之间的典型步长，上阈值比下阈值增加了0.3 dB的标称偏移量，从而产生一个滞后效应。

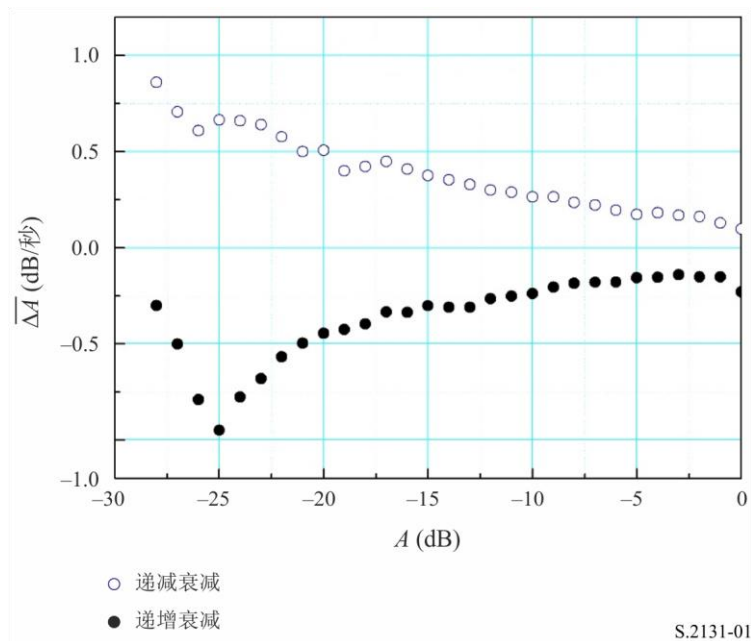
² Sooyoung Kim Shin, Kwangjae Lim, Kwonhue Choi和Kunseok Kang, “雨衰和卫星通信的多普勒频移补偿”, 《ETRI 杂志》, 第24卷, 第1期, 2002年2月, pp. 31-42。

³ Meixiang Zhang和Sooyoung Kim, “动态雨衰模型的统计方法”, 第29届AIAA国际通信卫星系统大会（ICSSC-2011）, 2011年11月28-12月3日, 日本奈良。

⁴ DVB文件A171-1. 数字视频广播（DVB）, 第二代广播系统的实施指南, 互动服务、新闻搜集及其他宽带卫星应用; 第1部分（DVB-S2）, 2015年3月。

图1

Ka频段卫星系统的平均衰减斜率



2 适用的性能参数

2.1 可变比特率HRDP新性能目标的需要

现有的有关误码性能的建议书（例如，ITU-R S.1062-4建议书）包括恒定比特率HRDP，因此不适用于使用ACM技术的系统。ACM的一个重要方面是，相对于 C/N ，各种MODCOD模式的BER特性在BER表现出快速降低，其中 N 是链路中的总噪声，包括热噪声和干扰。对于一个给定的MODCOD状态，运行BER（例如， 1×10^{-8} ）和 1×10^{-3} 的非常劣化的BER之间的 C/N 差值大约为0.25 dB。

许多现代卫星系统的性能是通过考虑基于分组的传输而以误包率（PER）来规定的，并且PER特性行为上表现出与BER几乎相同的快速降低。这一行为意味着，以PER作为时间函数的卫星性能与使用ACM技术的卫星系统无关，因为这样的系统将通过降低总吞吐量来适应降级条件，因此，不再是恒定比特率系统。先前曾探讨过利用平均或降级吞吐量的ACM技术测量卫星链路性能的概念⁵。参考文献考虑了ACM应用中信息速率降低的容忍度。本附件中提出的降级吞吐量概念可用于评估信息速率的降低。

在ACM MODCOD集耗尽其可用代码替代方案之前，利用ACM的卫星系统的PER降级到不可使用级别的概率极小。因此，不再需要给出误码性能和可用性值来指定卫星HRDP性能。此外，适当的性能目标将独立于信道速率，并且可以应用于所使用的任何‘指定’速率。

⁵ Gerald Shewan, “采用自适应编码和调制的卫星链路性能的替代测量方法”，第30届AIAA国际通信卫星系统大会（ICSSC-2012），2012年9月24-27日，加拿大渥太华。

2.2 误包率

DVB-S2 (X) 规范将准无误码 (QEF) 条件定义为 10^{-7} 的误包率 (PER)，数据包长度为188字节，对应于MPEG数据包的长度。这也对应于 10^{-5} 的误帧率 (FER)，帧的大小为16 200或64 800位。由于PER或FER曲线变化极大的特性，无论所有MODCOD状态如何， 10^{-7} 和 10^{-5} 的PER之间的C/N差异通常不大于0.1dB。⁶

DVB-S2调制解调器已在硬件中实现，并在ACM状态变化条件为 10^{-4} PER的情况下进行了演示。⁷由于长往返时间 (RTT)，在此极端PER特性前，DVB-S2调制解调器被设计为在QEF情况下改变MODCOD状态。

如果进行了基于帧 (或包) 的传输，那么ITU-T G.826建议书中定义的BBER参数可以映射到FER或PER，因为表1中定义的块的大小可能与包或者帧的大小兼容。

使用ACM的卫星系统的性能目标可以通过修改表2中的性能目标和使用表3所示的PER来指定。

表3
根据PER使用ACM的卫星系统的性能目标

占总时间的百分比	PER
每年的0.04%	$< 10^{-4}$
每年的0.6%	$< 10^{-5}$
每年的4.0%	$< 10^{-7}$ ⁽¹⁾

⁽¹⁾ 假设 10^{-7} 的PER为 10^{-4} FER的等价值，也假设其等价值于表1中 10^{-4} 的BBER。

2.3 频谱效率作为C/N函数

以Shannon-Hartley限表示的信道容量可以提供以bit/s/Hz为单位的频谱效率，这种频谱效率可表示为C/N的函数。在Shannon-Hartley限中，频谱效率作为C/N的函数可表示如下，这是可达到的最大值。

$$\eta(\gamma) = \log_2(10^{\gamma/10} + 1) \quad (1)$$

其中， η 是频谱效率以bit/s/Hz表示， γ 是C/N，在这种情况下它相当于用dB表示的符号能量噪声谱密度比 (E_s/N_0)。

⁶ DVB文件A171-2。数字视频广播 (DVB)，第二代广播系统的实施指南，互动服务、新闻搜集及其他宽带卫星应用；第2部分 - S2扩展 (DVB-S2X)，2015年3月，更多关于DVB-S2X规范的信息。

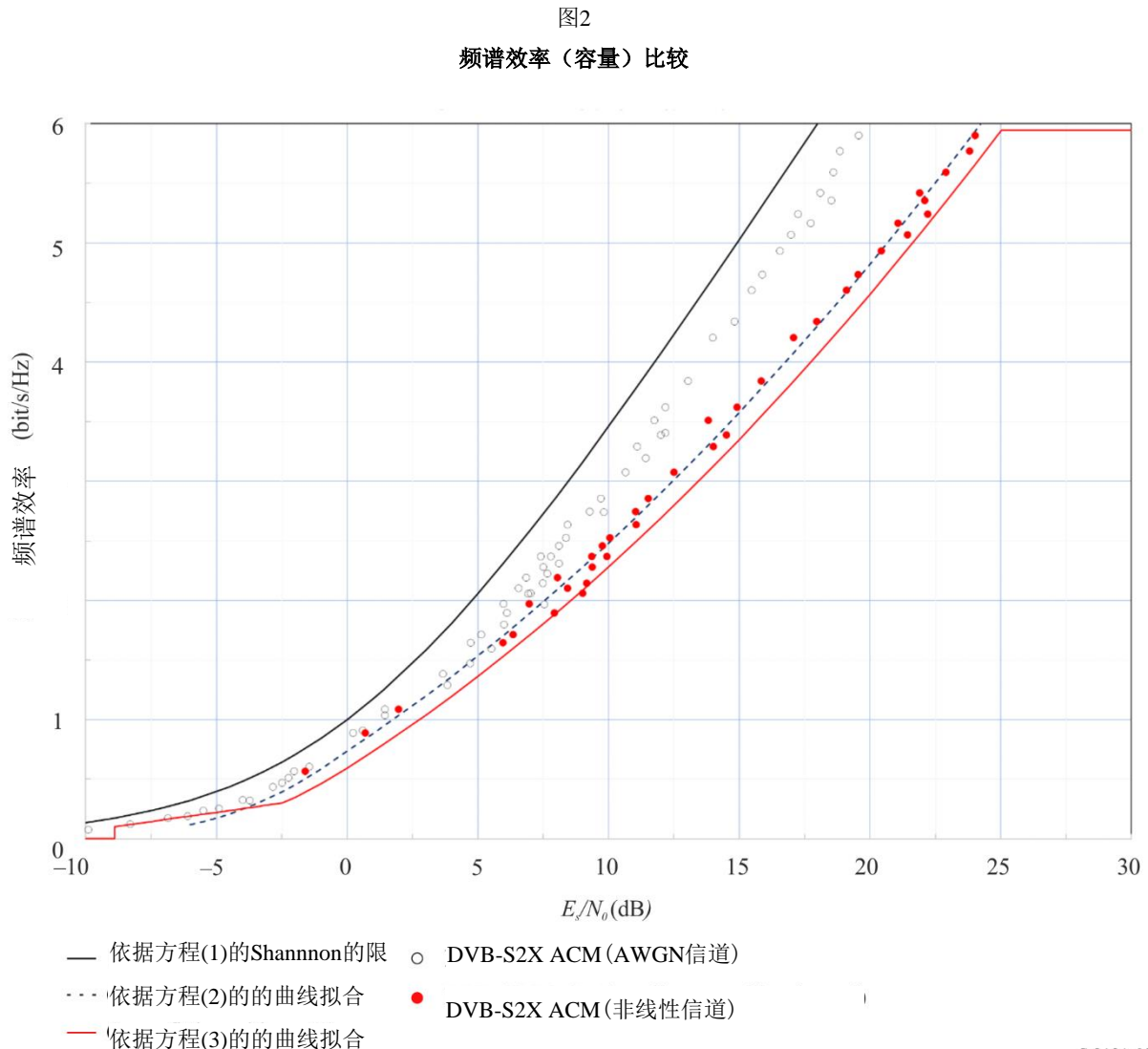
⁷ Joon-Gyu Ryu, Deock-Gil Oh, Hyun-Ho Kim和Sung-Yong Hong, “一种高效卫星通信正向链路自适应编码和调制系统的算法研究”，《电磁工程与科学杂志》，第16卷，第2期，2016年4月，pp. 80-86。

如果一个系统使用具有多个MODCOD模式的ACM，那么可以推导出 $\eta(\gamma)$ ，而且通过考虑大约1秒间隔内的ACM状态变化，可以将性能目标设置在一定的边限内保持 $\eta(\gamma)$ 。

因此，对于一个给定的以dB为单位的 γ 值，性能目标须基于不少于 $\eta(\gamma - 1.0)$ 的系统频谱效率。

为了举例说明如何将频谱效率用作性能目标，使用了DVB-S2X的特性⁸。

图2比较了DVB-S2X和DVB-S2的ACM MODCOD操作与Shannon-Hartley限的频谱效率。



通过使用两个最小二乘最小误差二阶多项式来拟合非线性卫星信道上的DVB-S2X ACM操作的频谱效率，可以得出以下方程式⁹。

⁸ DVB-S2X特性的使用不应被理解为对DVB-S2X系统的认可，从而损害了替代的ACM技术。DVB-S2X的特性可以在公共领域免费获得，而且这些特性的使用不受知识产权的限制。

⁹ 以DVB-S2X为例，说明该标准应用广泛，其特点属于公共领域。可以对任何替代ACM技术执行相同的推导。

$$\eta(\gamma) = 0.8181 + 0.1607\gamma + 0.0096\gamma^2, \text{ 对于 } -5 \leq \gamma < 0$$

$$\eta(\gamma) = 0.7375 + 0.1433\gamma + 0.003\gamma^2, \text{ 对于 } \gamma \geq 0$$
(2)

为了给曲线下部得到一个近似的曲线拟合，曲线（ $-5 \leq \gamma < 0$ dB）部分中的常数0.8181降低了大约0.08到0.7375，使曲线的上、下部分在 $E_s/N_0 = 0$ 对齐到相同的 γ 。图2中值得注意的是，DVB-S2X（AWGN信道）在图的左下部分指出，当 E_s/N_0 降至0以下时，AWGN信道与非线性信道的频谱效率之差逐渐缩小。随着常数项在（ $-2.5 \leq \gamma < 0$ dB）部分进行修改，方程（2）可进一步修改，以反映最小频谱效率数据序列。对于曲线的最低部分（ $-8.9 \leq \gamma < -2.5$ dB），可以使用一个线性函数来模拟性能。将曲线的上半部分和曲线在 $\gamma = 0$ 的任一侧的下半部分相结合，并加上使用线性函数描述的曲线的最低部分，可以用一系列函数来描述DVB-S2X（非线性卫星信道）的最小频谱效率，如下所示：

$$\eta(\gamma) = 0, \text{ for } \gamma < -8.9,$$

$$\eta(\gamma) = 0.030337\gamma + 0.376643, \text{ for } -8.9 \leq \gamma < -2.5,$$

$$\eta(\gamma) = 0.5933 + 0.1415\gamma + 0.0096\gamma^2, \text{ for } -2.5 \leq \gamma < 0,$$

$$\eta(\gamma) = 0.5933 + 0.1388\gamma + 0.003\gamma^2, \text{ for } 0 \leq \gamma < 25.02,$$

$$\eta(\gamma) = 5.944, \text{ for } \gamma \geq 25.02$$
(3)

对于采用针对极低 C/N^{10} 优化的DVB-S2X帧格式的系统，公式(3)适用于整个范围。对于不采用针对极低 C/N 优化的DVB-S2X帧格式系统，公式(3)适用于3 dB的最小 γ ，低于该值时， $\eta(\gamma) = 0$ 。

对于DVB-S2X，最高MODCOD的最高频谱效率为5.944 bit/s/Hz，对应于 $\gamma = 25.02$ dB。因此，当考虑使用DVB-S2X的卫星系统时，对于大于或等于25.02 dB的 γ ，公式(3)具有恒定值5.944 bit/s/Hz。当 γ 大于25.02 dB时，其他MODCOD方案可以产生更高的频谱效率¹¹。

性能目标为DVB-S2X性能提供1 dB增长，以考虑典型操作环境中的额外信道损伤。

在这个例子中，从上面的图2可以明显看出，在非线性卫星信道上使用DVB-S2X ACM的ACM链路中， C/N 值降低1 dB导致可实现频谱效率降低约10%。对于使用不同DVB-S2X的MODCOD的链路，可能有不同的结论。实际效率的降低取决于降级前的标称 C/N 值。

在更改ACM状态时，在1秒的间隔内，此处使用的示例系统能够容纳 C/N 降低1 dB。 C/N 的这种降级可能是由于所有外部噪声和雨衰的原因造成的。

图2及得出的结论是，使用DVB-S2X实现ACM的系统示例，但这种方法也可用于使用其他类型ACM的其他卫星链路。

¹⁰ 例如可参见第二代广播系统的实施指南，互动服务、新闻搜集及其他宽带卫星应用；第2部分 – S2 扩展（DVB-S2X）。C.2.6.2 超级帧格式7，第160页。

¹¹ 以DVB-S2X为例，说明该标准应用广泛，其特点属于公共领域。可以对任何替代ACM技术执行相同的推导。

2.4 降级吞吐量

尽管传播性能下降，但在卫星系统中使用ACM仍可保持卫星连接，但要以减少吞吐量为代价。通过合理地假设吞吐量直接随频谱效率的变化而变化，可以在使用ACM的HRDP卫星输出端实现的降级吞吐量与频谱效率相关。使用此假设，可以将吞吐量计算为 C/N 的函数， C/N 随传播和干扰条件而变化。

以下是将DVB-S2X用于美国南佛罗里达的卫星链路的示例，该方法仅受衰落影响。采用ITU-R P.618建议书的方法，可以计算出一年中超过一定时间的 C/N 值。例如，图3说明了在类似于南佛罗里达的气候区中以38.5 GHz运行的卫星链路的值。对于用于计算图4中曲线的假定频率和位置，并设有1 dB的边限以适应任何可能的干扰，衰减将导致0.3%的系统不可用，即仅有99.7%可用。上述链路的动态范围是33 dB。

仅属于在传播衰落和下降中的一个链路，且低于最低频谱效率的时间百分比取决于：

- 1 接收地球站的气候位置；
- 2 波形（例如DVB-S2X、DVB-S2等），特别是由该波形实现的最高可用编码（最稳健的MODCOD）；和
- 3 链路的动态范围是系统设计的一个功能。链路的动态范围是最佳传播条件下链路的最大 C/N 与传播条件导致 C/N 降至所用波形的频谱效率（降至零时）¹²链路的 C/N 之差。如果链路的动态范围不够，可能无法容纳所用波形的整个理论动态范围。

特定ACM波形的实现以及连接接收端调制解调器解调和解码极低 C/N 流量的能力，将影响链路运行的动态范围。这样，则可能达到调制解调器/编解码器仍然保持同步（载波锁定）但链路不可用的点，因为接收的 C/N 水平小于实现最强劲MODCOD时的 C/N 水平。

虽然使用ACM的卫星链路可以以降低的吞吐量维持连接，但是可以计算的可实现吞吐量的损失作为特定时间百分比的最大吞吐量的一部分，计算如下：

$$\varphi(T\%) = 1 - \frac{\eta(\gamma(T\%))}{\eta_{max}} \quad (4)$$

其中， η_{max} 表示最大可实现的频谱效率， $T\%$ 表示时间百分比， $\gamma(T\%)$ 是当时间 $\geq T\%$ 时可实现的 C/N ， $\varphi(T\%)$ 是实现吞吐量的降级。

由此，可通过对连接可用的时间段内的频谱效率进行数值积分来计算吞吐量损失的平均值(φ_{total})，如下所示：

$$\varphi_{total} = \int \left(1 - \frac{\eta(\gamma(T\%))}{\eta_{max}} \right) dT\% \approx \sum \varphi(T\%) \Delta T\% \quad (5)$$

通过插入 C/N ，可以找到频谱效率对应于一个具体时间百分比的 η ，例如方程(3)中 γ 的值。表4是使用ACM计算链路性能的示例，计算为吞吐量的平均损失，卫星系统的 φ_{total} ，如图4所示，基于可实现吞吐量的累积分布函数 $\varphi(T\%)$ 。在这个例子中， $\eta_{max} = \eta(24)$ 约为5.653。频谱效率图 $\eta(\gamma(T\%))$ 以及由此导致的可实现吞吐量的降级 $\varphi(T\%)$ 都展示在图4中。对于这个例子，吞吐量损失的平均值，当动态范围约为33 dB时， φ_{total} 使用方程(5)估计约为4.774%。

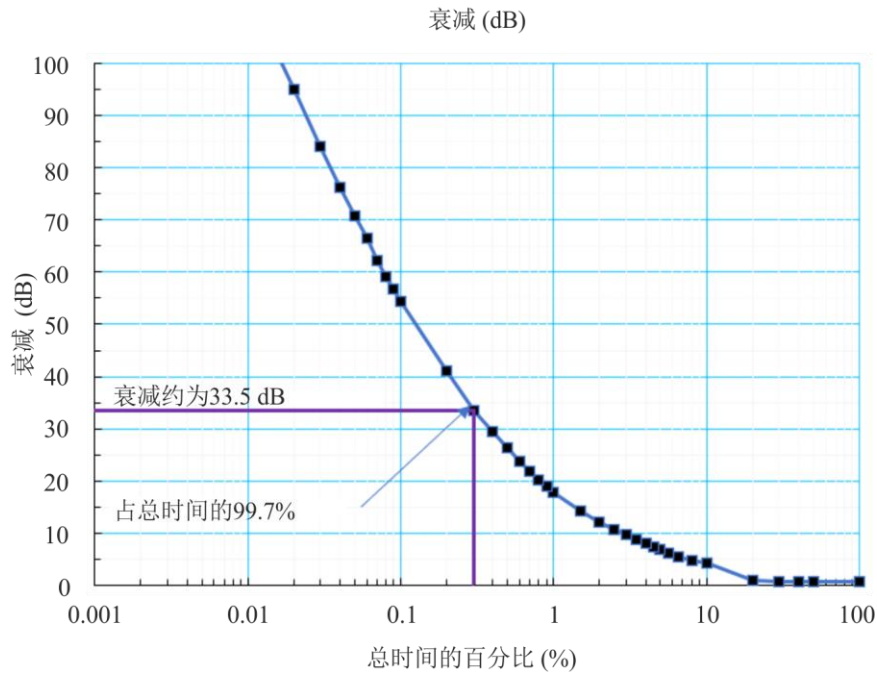
¹² 为此，频谱效率应理解为链路支持的有用信息率，但不包括纠错码。

表4
降级吞吐量估计示例

$T_{\%}$	总衰减 (dB)	$C/N, \gamma (T_{\%})$ (dB)	$\eta(\gamma(T_{\%}))$	$\varphi(T_{\%})$	$\Delta T_{\%}$	$\varphi(T_{\%}) \Delta T_{\%}$
0.3	33.5	-8.77	0.111	$0.980 = 1 - (0.111/5.653)$	0.1	$0.098 = 0.980 \times 0.1$
0.4	29.413	-4.69	0.234	$0.959 = 1 - (0.234/5.653)$	0.1	$0.096 = 0.959 \times 0.1$
0.5	26.277	-1.550	0.397	0.930	0.1	$0.093 = 0.93 \times 0.1$
0.6	23.842	0.885	0.719	0.873	0.1	0.087
0.7	21.893	2.834	1.011	0.821	0.1	0.082
0.8	20.285	4.443	1.269	0.775	0.1	0.078
0.9	18.925	5.803	1.500	0.735	0.1	0.073
1	17.754	6.974	1.707	0.698	0.5	0.349
1.5	14.187	10.540	2.390	0.577	0.5	0.289
2	12.009	12.718	2.844	0.497	0.5	0.248
2.5	10.634	14.093	3.145	0.444	0.5	0.222
3	9.617	15.111	3.376	0.403	0.5	0.201
3.5	8.716	16.011	3.585	0.366	0.5	0.183
4	7.983	16.744	3.759	0.335	0.5	0.168
4.5	7.371	17.357	3.906	0.309	0.5	0.154
5	6.849	17.879	4.034	0.286	0.6	0.172
5.6	6.186	18.54	4.198	0.257	1	0.257
6.6	5.524	19.20	4.365	0.228	1.4	0.319
8	4.861	19.87	4.535	0.198	2	0.395
10	4.199	20.529	4.707	0.167	2.2	0.368
12.2	3.392	21.34	4.920	0.130	2.3	0.298
14.5	2.585	22.14	5.137	0.091	2.5	0.228
17	1.778	22.95	5.359	0.052	3	0.156
20	0.972	23.756	5.584	0.012	10	0.122
30	0.778	23.950	5.638	0.003	10	0.025
40	0.753	23.975	5.645	0.001	10	0.013
50	0.727	24.000	5.653	0.000	50	0.000
100	0.727	24.000	5.653	0.000	0	0.000
φ_{total}						4.774

图3

因为ITU-R P.618建议书的传播损耗引起的衰减，
使用ACM进行卫星连接，并在类似于美国南佛罗里达的气候区运行



S.2131-03

假设如图4所示，卫星连接的衰减是总时间的函数，那么可以预期的损失吞吐量的平均值将是总可能吞吐量的4.774%。

$$\text{吞吐量} = \text{信道速率} \times \text{时间} \quad (6)$$

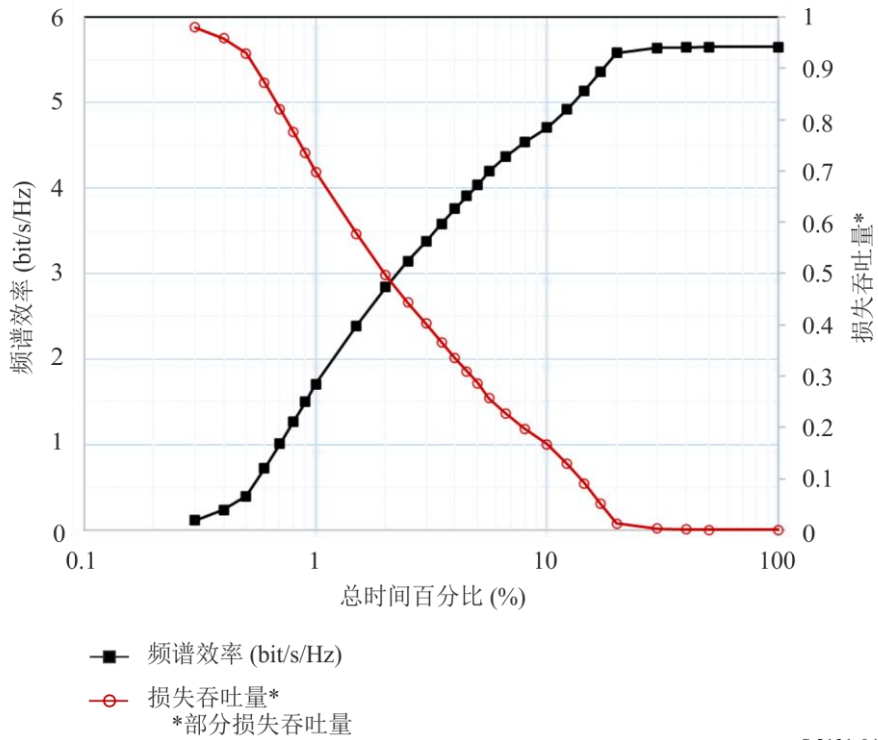
$$\text{损失吞吐量} = \text{最大可用吞吐量} - \text{已传送吞吐量} \quad (7)$$

$$\% \text{ 降级吞吐量} = (\text{损失吞吐量} / \text{最大可用吞吐量}) \times 100 \quad (8)$$

计算%降级吞吐量的例子在附件的附录中给出。

图4

使用ACM的卫星连接的光谱效率和损失吞吐量*,
并在类似于美国南佛罗里达的气候区运行



S.2131-04

附件的附录

%降级吞吐量计算示例

假设可实现的最佳MODCOD为16APSK 77/90。进一步假设信道调制速率为34兆比特每秒。结合这些假设，比率为116.36 Mbit/s。假设连接使用188字节数据包，其中每个字节是一个八位字节。

最大可用吞吐量 (MAT_{put})，已送达吞吐量 (DT_{put})，损失吞吐量 (LT_{put}) 以及%降级吞吐量 ($\%DT_{put}$) 的计算展示如下：

$$MAT_{put} = \text{最大信道速率 (bit/s)} \times \text{Time (s)} \tag{9}$$

$$DT_{put} = \sum \text{信道速率 (C/N)}_i \text{ (bit/s)} \times \text{Time}_i \text{ (s)} \tag{10}$$

$$LT_{put} = MAT_{put} - DT_{put} \tag{11}$$

$$\%DT_{put} = (LT_{put}/MAT_{put}) \times 100 \tag{12}$$

对于假定值：

$$MAT_{put} = 116.36 \text{ Mbit/s} \times 31557600 \text{ s/年} = 3.67 \times 10^{15} \text{ 比特或} 2.44 \times 10^{12} \text{ 包每年。}$$

使用表5给的数据，假设信道速率的变化方式与频谱效率相同，则 LT_{put} 为 1.165×10^{11} 包且 $\%DT_{put} = 4.774\%$ 。

表5

%降级吞吐量34兆比特每秒，16APSK 77/90，
188字节数据包，116.36 Mbit/s最大可用吞吐量 = 2.44×10^{12} 包/年

%时间	总衰减	$C/N, \gamma(T\%)$ (dB)	$\eta(\gamma(T\%))$	$\Delta T\%$	$\%DT_{pu, \phi}(T\%)$	损失吞吐量
0.3	33.5	-8.77	0.111	0.1	$0.980 = 1 - (0.111/5.653)$	2392300555.55
0.4	29.413	-4.69	0.234	0.1	0.959	2338777860.07
0.5	26.277	-1.550	0.397	0.1	0.930	2268593048.04
0.6	23.842	0.885	0.719	0.1	0.873	2129821586.02
0.7	21.893	2.834	1.011	0.1	0.821	2003692375.24
0.8	20.285	4.443	1.269	0.1	0.775	1892136410.30
0.9	18.925	5.803	1.500	0.1	0.735	1792605325.58
1	17.754	6.974	1.707	0.51	0.698	8515408574.43
1.5	14.187	10.540	2.390	0.5	0.577	7042604485.82
2	12.009	12.718	2.844	0.5	0.497	6061899097.19
2.5	10.634	14.093	3.145	0.5	0.444	5411456009.74
3	9.617	15.111	3.376	0.5	0.403	4914264989.65
3.5	8.716	16.011	3.585	0.5	0.366	4462867228.40
4	7.983	16.744	3.759	0.5	0.335	4087795603.11
4.5	7.371	17.357	3.906	0.5	0.309	3769153208.08
5	6.849	17.879	4.034	0.6	0.286	4192406755.67
5.6	6.186	18.54	4.198	1	0.257	6277955694.24
6.6	5.524	19.20	4.365	1.4	0.228	7780079269.90
8	4.861	19.87	4.535	2	0.198	9650151891.10
10	4.199	20.529	4.707	2.2	0.167	8979487209.87
12.2	3.392	21.34	4.920	2.3	0.130	7269900943.64
14.5	2.585	22.14	5.137	2.5	0.091	5558025750.48
17	1.778	22.95	5.359	3	0.052	3806209512.79
20	0.972	23.756	5.584	10	0.012	2974051094.53
30	0.778	23.950	5.638	10	0.003	615903898.01
40	0.753	23.975	5.645	10	0.001	308034447.18
50	0.727	24.000	5.653	50	0.000	0.00
100	0.727	24	5.653	0	0.000	0.00
						116495582824.63
			Φ_{total}			4.774