

国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

J.83

(12/2007)

J系列：有线网络和电视、声音节目及其他
多媒体信号的传输

电视信号的数字传输

用于电缆配线的电视、声音
和数据业务的数字多节目系统

ITU-T J.83 建议书

ITU-T

ITU-T J.83建议书

用于电缆配线的电视、声音 和数据业务的数字多节目系统

摘要

ITU-T J.83建议书涵盖了由有线网络分发的电视、声音和数据业务的数字多节目信号的成帧架构、信道编码和调制定义。

本建议书有四个附件（附件A、B、C和D），提供了提交给ITU-T的四种数字电视有线系统的规范。这反映出在国际电联开展该项标准化工作之前已经开发并临时实施了多种数字有线电视系统的事实。

本建议书建议，在现有和未来有线网络上实施新数字多节目业务的人应采用其中一种成帧架构、信道编码和调制规定在附件A、B、C和D中的系统。

来源

ITU-T第9研究组（2005-2008）按照ITU-T A.8建议书规定的程序，于2007年12月14日批准了ITU-T J.83建议书。

前言

国际电信联盟（ITU）是从事电信领域工作的联合国专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电信联盟的常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化，发表有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定ITU-T各研究组的研究课题，再由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA第1号决议规定了批准建议书须遵循的程序。

属ITU-T研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工技术委员会（IEC）合作制定的。

注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，又指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其它一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其它机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新信息，因此特大力提倡他们通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2019

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

目录

页码

| | | |
|------|------------------------|----|
| 1 | 范围 | 1 |
| 2 | 参考文献 | 1 |
| 3 | 术语和定义 | 2 |
| 4 | 符号和缩略语 | 2 |
| 4.1 | 符号 | 2 |
| 4.2 | 缩略语 | 3 |
| 5 | 用于电缆配线的数字多节目信号系统 | 4 |
| 附件A | – 数字多节目信号系统A | 6 |
| A.1 | 引言 | 6 |
| A.2 | 规范 | 6 |
| 附件B | – 数字多节目系统B | 7 |
| B.1 | 引言 | 7 |
| B.2 | 电缆系统的概念 | 7 |
| B.3 | MPEG-2传送层 | 8 |
| B.4 | MPEG-2传送成帧 | 8 |
| B.5 | 前向纠错 | 12 |
| B.6 | 调制和解调 | 26 |
| 附件C | – 数字多节目系统C | 28 |
| C.1 | 引言 | 28 |
| C.2 | 电缆系统概念 | 28 |
| C.3 | MPEG-2传输层 | 29 |
| C.4 | 成帧结构 | 29 |
| C.5 | 信道编码 | 30 |
| C.6 | 调制 | 32 |
| 附件D | – 数字多节目系统D | 40 |
| D.1 | 引言 | 40 |
| D.2 | 电缆系统的概念 | 40 |
| D.3 | MPEG-2传输层 | 41 |
| D.4 | 成帧结构 | 41 |
| D.5 | 频道编码 | 43 |
| D.6 | 调制 | 48 |
| D.7 | 16-VSB电缆接收机 | 49 |
| D.8 | 其他VSB模式 | 50 |
| 参考资料 | | 58 |

引言

新的数字技术的发展现在已经达到了这样的程度，即在视觉和声音质量、频谱和功率效率、服务灵活性、多媒体融合和潜在的设备成本降低方面，与传统模拟技术相比，它们使数字系统能够提供显著的优势。此外，使用电缆配线向个人观众和听众传送视频和音频信号的情况不断增加，并且已经成为世界上许多地方的主要分发形式。同样显而易见的是，通过广泛使用数字系统可以最好地实现这些潜在的好处，这些数字系统旨在易于在现有基础设施上实施，并利用与相关视听系统的许多可能的协同作用。

鼓励计划引入数字有线电视服务的主管部门和私人运营商考虑使用附件A、B、C和D中描述的系统之一，并寻求进一步融合的机会，而不是开发基于相同技术的不同系统。

本建议书第二版（1997年）纳入了修正案1（10/1996），该修正案对建议书的第一版进行了以下修改：

- a) 附件B包括256-QAM的规范；
- b) 在附件B中，指定了两种不同的交织能力操作模式，称为1级和2级。1级仅指定用于64-QAM传输，并且该模式已存在于附件B的第一版中。2级包括64-QAM和256-QAM传输，并且两种调制方案都能够支持可变交织。
- c) 在附件D的第一版中，识别出24位，其确定帧中数据的VSB模式，并且定义了两种这样的模式：16-VSB电缆和8-VSB地面（网格编码）。对于第二版，定义了三种其他VSB模式，即，2-VSB、4-VSB和8-VSB。

本建议书第3版（2007年）通过在附件A中增加128 QAM和256 QAM以及在附件C中增加256 QAM来增强调制方法。

用于电缆配线的电视、声音 和数据业务的数字多节目系统

1 范围

本建议书的范围是可能在频分复用中由有线网络（例如，CATV系统）分发的数字多节目电视、声音和数据信号的成帧结构、信道编码和调制的定义。单独的建议书定义了通过SMATV网络分发的数字多节目信号的传输特性。

注1 – 系统输入指定为MPEG-2传输层；这提供了前向信道中的一些辅助数据容量，可用于满足交互式服务的需求（返回信道的规定和特性的描述超出了本建议书的范围）。

MPEG-2传输层具有高度的灵活性，可以配置为传输任何想要的电视、声音和数据信号的混合（声音可能与视频信号内容相关，也可能与视频信号内容无关，并且具有各种可能的质量级别）。传输层甚至可以完全致力于声音编程的传递，尽管它可能不一定针对该应用进行优化。

在今后的建议中，可处理只含有声音信号的多路复用的具体情况。

本建议书旨在确保承载多节目信号的电缆配线（例如CATV）网络的设计者和运营者将拥有能够建立和维护完全令人满意的网络所需的信息。它还提供设备（包括接收机）的设计者和制造商所需的信息，用于通过有线网络分发的数字多节目信号。

注2 – 本建议书的结构和内容是为了便于熟悉原始资料的人员而使用的；因此，尚未应用ITU-T建议书的通常风格。

2 参考文献

下列ITU-T建议书和其他参考文献的条款，在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。在出版时，所指出的版本是有效的。所有的建议书和其它参考文献均会得到修订，本建议书的使用者应查证是否有可能使用下列建议书或其它参考文献的最新版本。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时不具备建议书的地位。

- [1] ITU-R BO.1211建议书（1995年），用于在11/12 GHz频率范围内工作的卫星的电视，声音和数据业务的数字多节目发射系统。
- [2] ITU-T H.222.0建议书（1995年）| ISO / IEC 13818-1: 1996，信息技术 – 活动图像和相关音频信息的通用编码：系统。
- [3] European Telecommunications Standards Institute (ETSI) EN 300 429 V1.2.1 (1998-04), *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems.*

3 术语和定义

本建议书中未使用任何非常规术语或定义。

4 符号和缩略语

4.1 符号

本建议书使用以下符号：

| | |
|-------------|---|
| α | 滚降系数 |
| A_k, B_k | 字节输出到米-元组转换器的最高位 |
| byte | 八位 |
| f_0 | 信道中心频率 |
| f_N | 奈奎斯特频率 |
| $g(x)$ | RS码生成多项式 |
| $G_{(256)}$ | RS原始场生成多项式 |
| $G_{(16)}$ | 随机数生成多项式 |
| I | 交叉存取深度（字节） |
| I, Q | 同位相、调制信号的正交相位分量 |
| j | 分支指数 |
| k | 映射到n个符号的字节数 |
| m | 2 ^m 级QAM的功率：4、5、6分别为16-QAM、32-QAM、64-QAM |
| M | 卷积交织器j = 1的分支深度， $M = N / I$. |
| ms | 毫秒 |
| n | 从k个字节映射的符号数 |
| N | 错误保护帧长度（字节） |
| $p(x)$ | RS场生成多项式 |
| PN(x) | 由符号后面的数字标识伪随机序列 |
| q | 位数：2、3、4分别为16-QAM、32-QAM、64-QAM的 |
| R | 随机序列 |
| r_m | 带内纹波（dB） |
| R_s | 符号率对应于调制信号的双边奈奎斯特带宽 |
| R_u | MPEG-2传输多路复用器之后的有用比特率 |
| R_u' | RS外编码器后的比特率 |
| T | RS错误保护包中可以纠正的字节数 |
| T_s | 符号周期 |

4.2 缩略语

本建议书使用下述缩略语：

| | |
|-------|-----------|
| ATM | 异步传送模式 |
| BB | 基带 |
| BER | 误码率 |
| bps | 每秒位数 |
| CATV | 社区天线电视 |
| C/N | 载波噪声比 |
| DTVC | 数字有线电视 |
| FEC | 前向纠错 |
| FIFO | 先入先出 |
| HEC | 标头差错控制 |
| HEX | 十六进制 |
| IF | 中频 |
| IRD | 集成接收机解码器 |
| LSB | 最低有效位 |
| MMDS | 多信道多点分发系统 |
| MPEG | 动态图像专家组 |
| MSB | 最高有效位 |
| MUX | 多路复用 |
| P | 平价 |
| PDH | 准同步数字体系 |
| PN | 伪随机噪声 |
| ppm | 百万分之一 |
| PRBS | 伪随机二进制序列 |
| QAM | 正交幅度调制 |
| QEF | 准无误码 |
| RF | 射频 |
| RS | 里德-所罗门编码 |
| SMATV | 主卫星天线电视 |
| SNR | 信噪比 |
| sps | 每秒千符号 |
| Sync | 同步信号 |

| | |
|--------|-----------|
| TBD | 待定 |
| TDM | 时分复用 |
| TS | 传送流 |
| VLSI | 超大规模集成电路 |
| VSB | 残留边带调制 |
| XOR | 异或门 |
| 2-VSB | 2级残留边带调制 |
| 4-VSB | 4级残留边带调制 |
| 8-VSB | 8级残留边带调制 |
| 16-VSB | 16级残留边带调制 |

5 用于电缆配线的数字多节目信号系统

建议在现有和未来有线网络上实施新的数字多节目信号服务的人应使用其附件A、B、C和D中所规定的成帧结构、信道编码和调制的系统之一。表1中对规格进行了比较，说明了共同的特征。

表1 – 说明共同特征的概要形式的规范比较

| 项目 | | 附件B | 附件A | 附件C | 附件D |
|------|------|--|---|--|-----|
| 输入信号 | | 修改的MPEG-2传输流。奇偶校验和代替了同步字节，提供改进的分组描述功能，以及独立于FEC层的错误检测功能。（见B.4。） | MPEG-2传输流 （见[3]、C.3、D.3中的第5节。） | | |
| 成帧 | | FEC帧由42或40位结尾同步讯号组成，后面跟着60或88个RS块，每个块包含128个符号。RS符号由7位组成。因此，FEC帧中总共有53 802或78 888位，分别用于64或256-QAM。（见B.5.3。） | 成帧架构以MPEG-2传输包结构为基础。 （见[3]、C.4、D.4中的第6节。） | | |
| 信道编码 | 随机 | PRS的3字多项式： GF 128上的 $x^3 + x + \alpha^3$ 。 （见B.5.4。） | PRBS的15位多项式： $1 + x^{14} + x^{15}$ （见[3]、C.5.1中的第7.1节。） | PRBS的16位多项式： $1 + x + x^3 + x^6 + x^7 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$ 。 （见D.5.1。） | |
| | 前向纠错 | 级联编码，RS（128、122）GF 128与卷积编码。 （见B.5.1。） | RS（204、188）GF 256 （见[3]、C.5.2中的第7.2节。） | RS（207、187）GF 256 （见D.5.2。） | |
| | 交叉存取 | 卷积交织深度： I = 128、64、32、16、8 J = 1、2、3、4、5、6、7、8、16。 （见B.5.2。） | 卷积交织、深度： I = 12。 （见[3]、C.5.3中的第7.3节。） | 卷积交织，深度：I = 52。 （见D.5.3。） | |

表1 – 说明共同特征的概要形式的规范比较

| 项目 | | 附件B | 附件A | 附件C | 附件D |
|----|---------|--------------------------------------|--|-------------------------|-----------------|
| 调制 | 字节符号映射 | 见B.5.5. | 见[3]、C.6.1中的第8节。 | 见D.6.1. | 见D.6.1. |
| | 差分编码 | 见B.5.5. | 见[3]、C.6.2中的第8节。 | 无 | 无 |
| | 格码 | 见B.5.5. | 无 | | |
| | 带宽 | 6 MHz | 8 MHz | 6 MHz | |
| | 星座 | 64-或256-QAM 图B.18或B.19 | 16-、32-、64- 128-、256-QAM (见[3]中的第9 节) | 64-、256- QAM 图C.7 | 2-、4-、8-、16-VSB |
| | 滚降系数 | 64或256- QAM分别为18% 或12% 见B.6.1。 | 15% (见[3]中的第9 节) | 13% 见C.6.4 | 11.5% 见D.6.3 |
| | 基带滤波器特性 | 表B.2 | 见[3]中的附件A | 图C.8 | 图D.11 |

附件A

数字多节目信号系统A

(本附件是本建议书不可分割的组成部分)

A.1 引言

本附件源于数字视频广播(DVB)项目所做的工作,该项目是由全球超过35个国家的260多个广播公司、制造商、网络运营商、软件开发商、监管机构和其他机构组成的行业领导的联盟,致力于为全球交付设计全球标准的全球数字电视和数据业务。它已被欧洲广播联盟(EBU)的联合技术委员会(JTC)、欧洲标准化电子技术委员会(CENELEC)和欧洲电信标准学会(ETSI)采纳为欧洲标准(EN) 300 429 [3]。

它描述了用于通过电缆进行数字多节目电视分发的成帧结构、信道编码和调制(在本附件中为“系统”)。该系统可以与卫星数字多节目电视的调制/信道编码系统一起公开透明地使用。

该系统基于MPEG-2(参见参考文献[2])关于信源编码和传输复用,并增加了适当的前向纠错(FEC)。它基于正交幅度调制(QAM)。它允许16、32、64、128或256-QAM星座。

系统FEC旨在将比特误码率(BER)从 10^{-4} 提高到 10^{-10} 到 10^{-11} 的范围,确保“准无误差”(QEF)操作,每个传输小时大约有一个未校正的错误事件。

A.2 规范

ETSI EN 300 429 [3]的文本适用于本附件A,修改如下。

A.2.1 未编号的条款'前言'

标有'前言'的介绍性条款不适用于本附件。

附件B

数字多节目系统B

(本附件是本建议书不可分割的组成部分)

B.1 引言

本附件描述了特定于有线频道的数字多业务电视分发系统的成帧结构、信道编码和信道调制。由于许多有线系统直接从卫星链路馈送，因此该系统可以透明地用于卫星信道的分配。该规范涵盖了64和256-QAM。两种调制方案的大多数特性都是相同的。如有不同之处，本规范会详细介绍每种调制方案的具体细节。

调制、交织和编码的设计是以北美地区电缆系统的测试和表征为基础。调制是正交幅度调制，具有64点信号星座（64-QAM）和256点信号星座（256-QAM），可选择发射机。前向纠错（FEC）基于级联编码方法，该方法在中等复杂度和开销下产生高编码增益。在类似的整体复杂性下，级联编码提供了比块代码更高的性能。系统FEC针对每15分钟一次错误事件的阈值输出错误事件率进行优化，以实现准无差错操作。

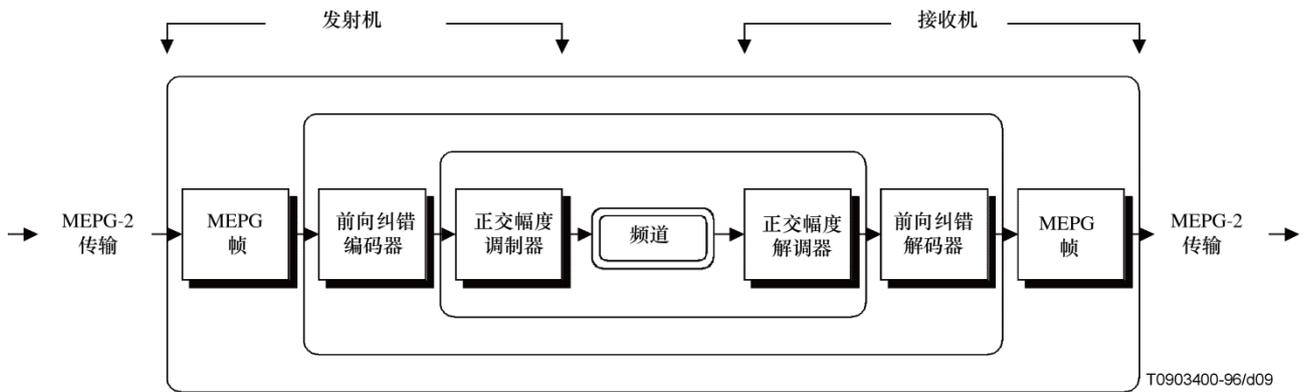
调制和编码的数据格式输入假定为MPEG-2传送。但是，用于MPEG同步的方法与FEC同步分离。例如，这使得系统能够在不干扰ATM同步的情况下轻松地携带ATM包。事实上，ATM同步可以通过特定的ATM同步机制来执行

支持两种模式：模式1的符号率为5.057兆符号/s，模式2的符号率为5.361兆符号/s。通常，模式1将用于64-QAM，模式2将用于256-QAM。该系统将与采用更高阶QAM扩展的更高数据速率方案在未来实现兼容。

B.2 电缆系统的概念

信道编码和传输特定于特定媒体或通信信道。预期的信道误差统计和失真特性对于确定适当的纠错和解调至关重要。电缆信道（包括光纤）主要被视为带宽受限的线性通道，具有白噪声、干扰和多径失真的平衡组合。所使用的正交幅度调制（QAM）技术与自适应均衡和级联编码一起非常适合于该应用和信道。

电缆传输处理的基本分层框图如图B.1所示。以下子条款从发送侧的“外部”和透视侧定义这些层。



图B.1 – 电缆传输框图

B.3 MPEG-2传送层

MPEG-2传送层在参考文献[2]中定义。MPEG-2数据的传送层由具有188字节的数据包组成，其中一个字节用于同步，三个字节头部包含业务标识、扰码和控制信息，接着是184字节的MPEG-2或辅助数据。

B.4 MPEG-2传送成帧

TMPEG传送成帧是最外层的处理。它是将MPEG数据包同步发送到接收机输出的一种强有力的方法。该处理块接收一个MPEG-2传送数据流，该数据流由一个固定长度188字节的连续流组成。该数据流以串行方式传输，最高有效位（MSB）是首位。数据包的第一个字节被指定为值为47_{HEX}的同步字节。

同步字节用于数据包描述。电缆传输系统结合了附加的处理层，以通过利用该同步字节的信息承载能力来提供附加功能。奇偶校验和是FIR奇偶校验线性分组码的陪集，用于替换该同步字节，提供改进的数据包描述功能和独立于FEC层的错误检测能力。

在相邻的187个字节上计算奇偶校验和，它构成紧接在前的MPEG-2数据包内容（减去同步字节）。然后可以支持同时的数据包同步和错误检测。解码器使用有效代码字的检测来计算串行数据流上的滑动校验和，以检测数据包的开始。一旦建立了锁定对齐条件，在预期位置缺少有效代码字将指示分组错误。可选地，可以设置先前分组的错误标志，因为数据被传递出解码器。必须重新插入普通同步字来代替校验和，以提供标准的MPEG-2数据流作为输出。

通过将1496个有效载荷位通过线性反馈移位寄存器（LFSR）来计算校正子，如下式所示：

$$f(x) = [1 + x^{1497}b(x)] / g(x)$$

其中：

$$g(x) = 1 + x + x^5 + x^6 + x^8; \text{ and}$$

$$b(x) = 1 + x + x^3 + x^7$$

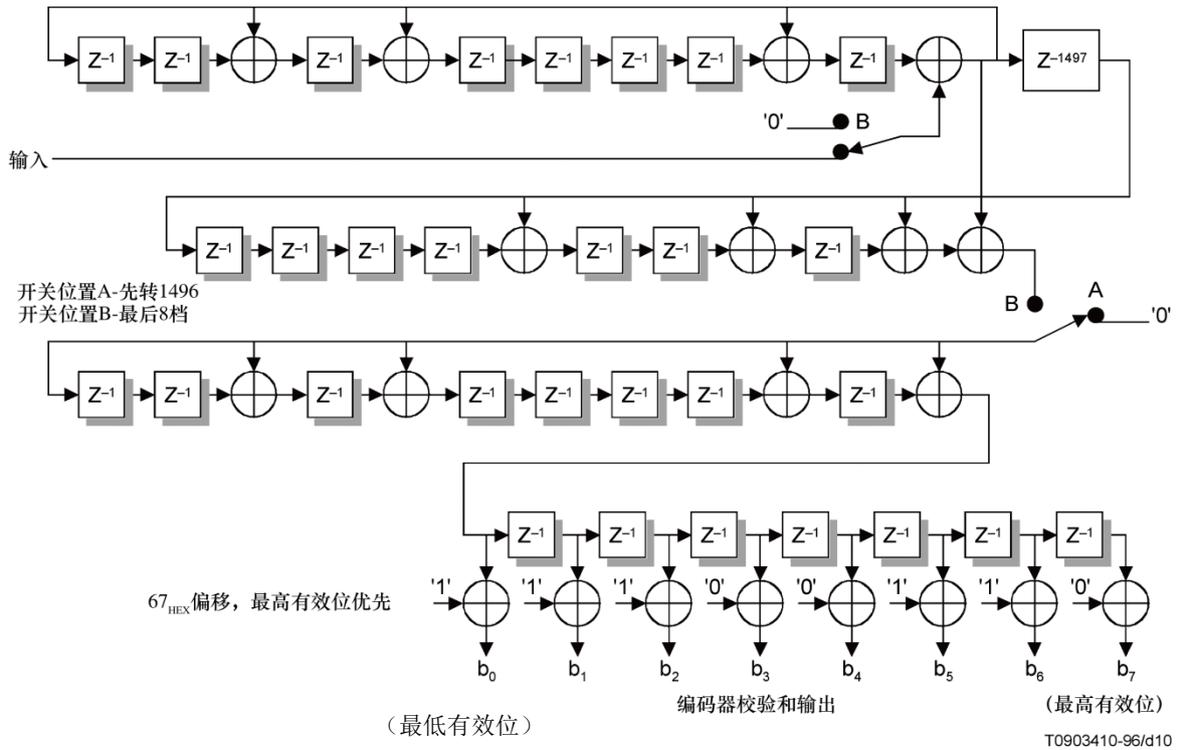
该计算结构如图B.2和B.3所示。假设所有加法运算都是模2。对于编码操作，首先初始化LFSR，以便所有存储器元素都包含零值。然后，构成MPEG-2传送流分组有效载荷的1496比特被移位到LFSR中。在接收到1496个数据位之后，编码器输入被设置为零，并且需要8个额外的移位来顺序输出8个计算的校正子位。然后必须通过附加FIR滤波函数 $g(x)$ （在引入8个校正子位之前初始化为全零状态）来生成编码器校验和。该校验和结果添加了67_{HEX}的偏移量以改善自相关属性，并且当存在有效代码字时，在校正子解码操作期间产生47_{HEX}结果。具有增加的偏移的最终8比特校验和首先在1496个有效载荷比特之后发送MSB以实现系统编码器。

解码器可以使用奇偶校验矩阵来识别有效的校验和。如图B.3所示的校正子发生器也可用于此目的。设计代码时，当修改的MPEG-2传送流包的适当188字节（包括相关的校验和）与奇偶校验矩阵相乘时，当计算的乘积产生47_{HEX}结果时，指示有效的代码字。奇偶校验矩阵“P”的8列中的每一列包括1497位向量，以下称为“C”。该向量在图B.4中定义。

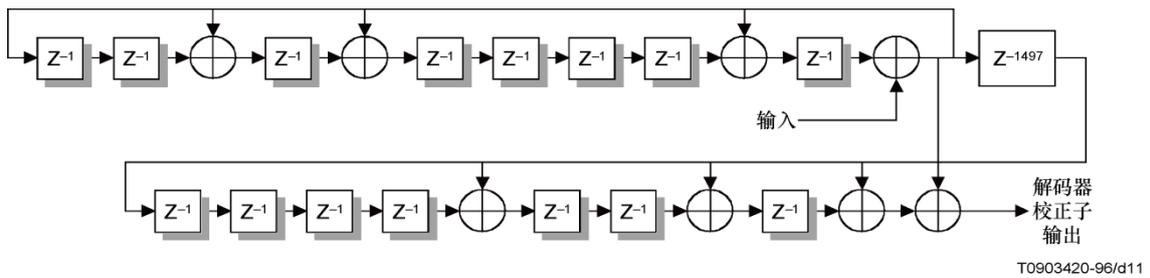
从矩阵“P”的最左列开始，1497位列“C”在矩阵“P”的后续列中重复，向下移位一位。列数据未占用的位位置用零填充，如图B.5所示。

注意，校验和是基于先前的187个字节计算的，而不是MPEG-2同步解码器尚未接收的187个字节。这与MPEG数据包结构的传统概念形成对比，因为同步字节通常被描述为接收数据包的第一个字节。

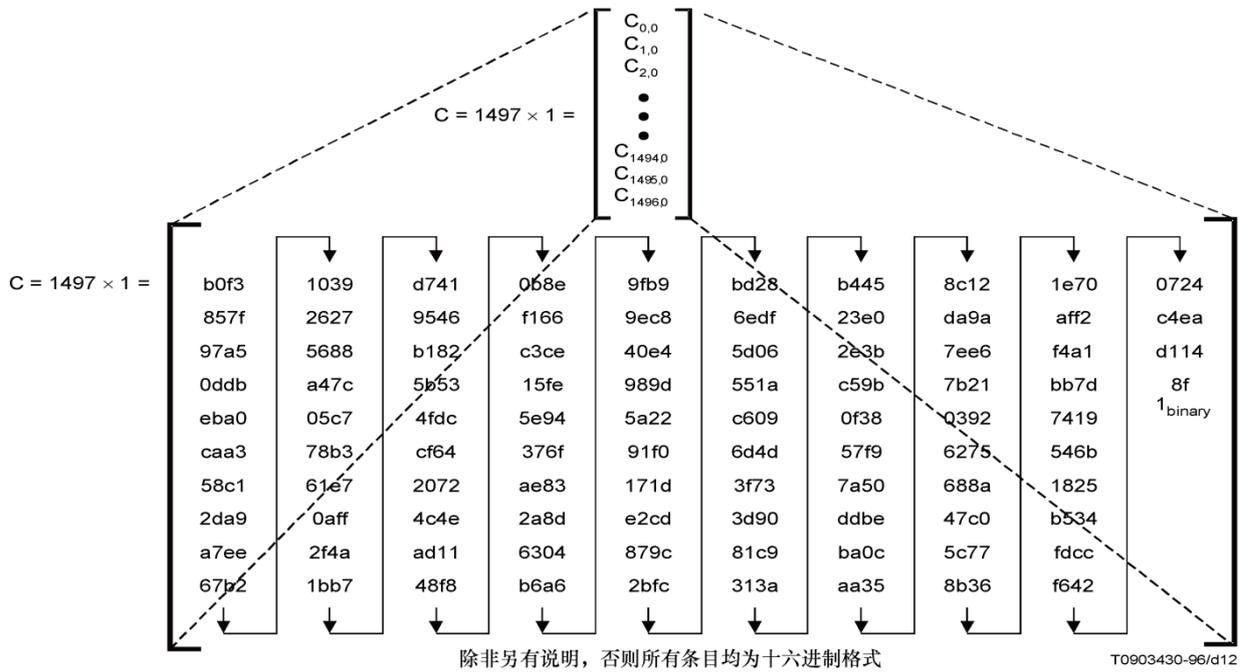
接收的矢量“R”是由187个字节后跟校验和字节组成的MPEG-2数据，总共产生1504个比特。该“R”向量乘以奇偶校验“P”矩阵乘以（模2），产生长度为8位的“S”向量，如图B.6所示。



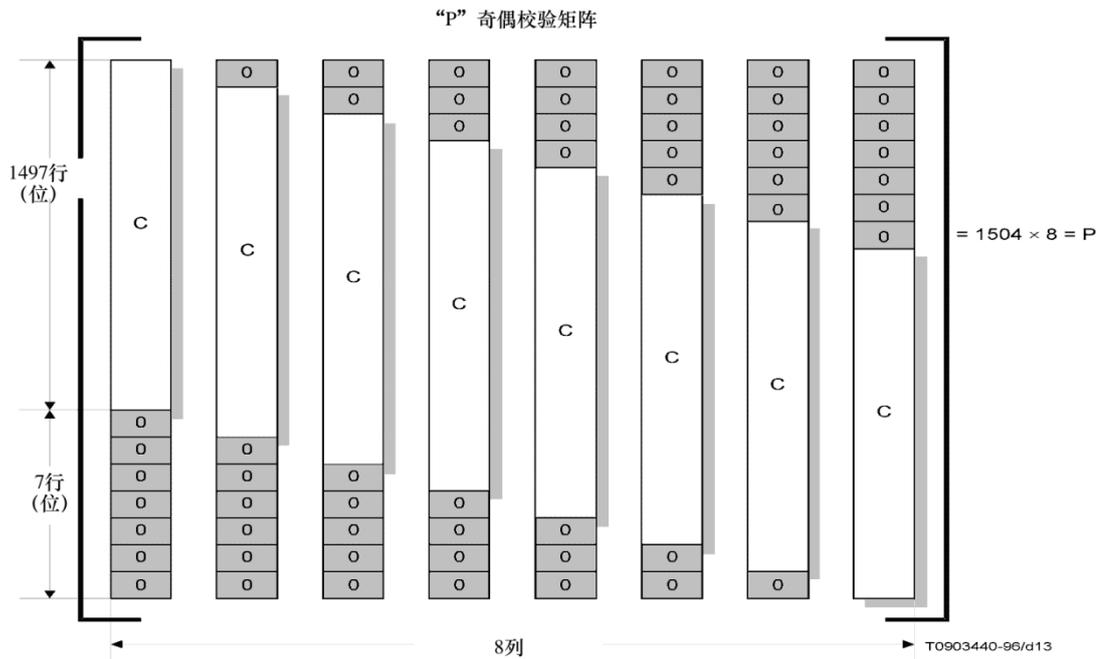
图B.2 – 用于MPEG-2同步字节编码器的校验和发生器



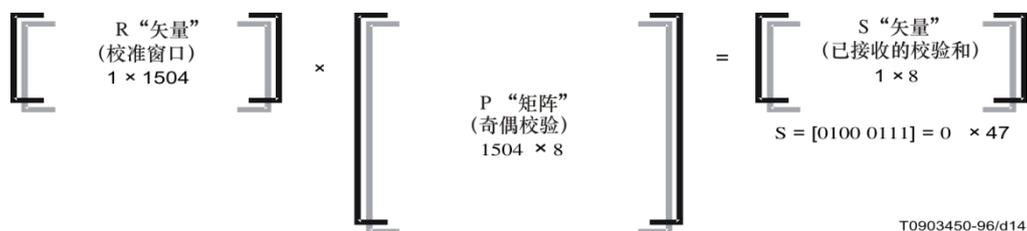
图B.3 – 用于MPEG-2同步解码器的校正子发生器



图B.4 – “C” 列向量（在奇偶校验矩阵内复制）



图B.5 – 奇偶校验矩阵 “P” 的结构



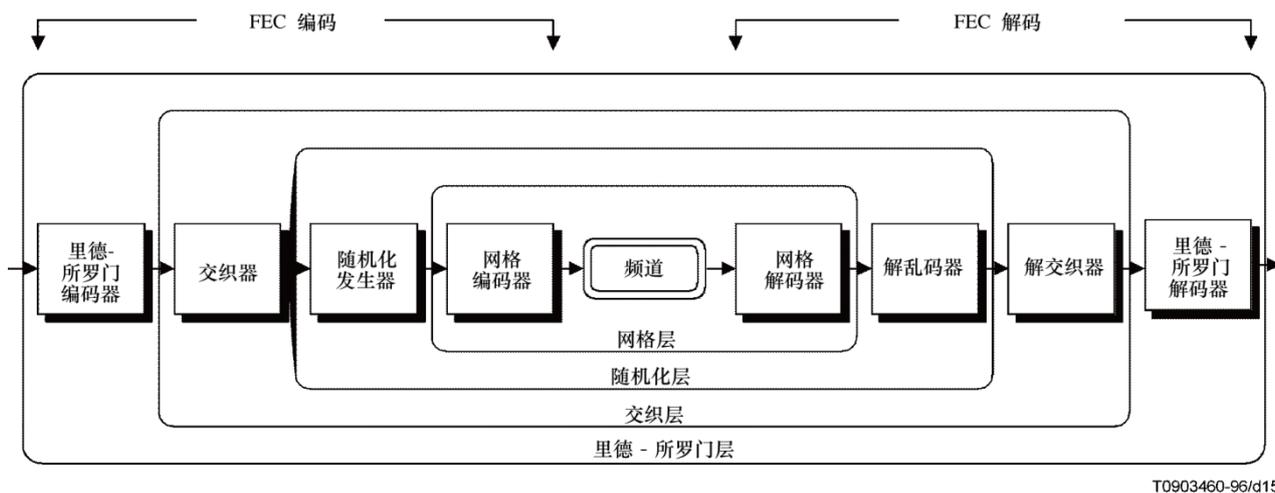
图B.6 – 接收的MPEG-2矢量和奇偶校验矩阵乘法

当 $S = [0100, 0111] = 47_{\text{HEX}}$ 时，表示有效的校验和。

为了传送除MPEG-2传送之外的传输协议，例如异步传输模式（ATM），移除或绕过该外层。FEC层接受并传送数据，而不受协议的任何限制。如果应用程序需要，可以用适合替代传输协议的成帧部分替换成帧部分。本规范的所有其他部分（调制、编码、交织）如下所述实现。对于ATM的情况，不需要成帧层。ATM HEC通常提供足够的数据包成帧和错误检测。因此，同步ATM流透明地传输，而没有用于MPEG或准MPEG数据包封装的开销。

B.5 前向纠错

前向纠错（FEC）定义由四个处理层组成，如图B.7所示。在任何FEC层中都不依赖于输入数据协议。FEC同步完全是内部和透明的。任何数据序列都将从编码器输入传送到解码器输出。



图B.7 – FEC中的处理层

FEC部分使用各种类型的纠错算法和交织技术，通过电缆信道可靠地传输数据。

- 里德-所罗门编码（RS） – 提供块编码和解码，以纠正RS块内最多三个符号。
- 交织 – 均匀地分散符号，防止一串符号错误被发送到RS解码器。
- 随机化 – 随机化频道上的数据，以实现有效的QAM解调器同步。
- 网格编码 – 提供卷积编码，并且可以使用随机频道错误软判决网格解码。

以下子条款定义了这4个层。

B.5.1 里德-所罗门编码

MPEG-2传送流是使用GF（128）上的（128,122）代码编码的里德-所罗门（RS）编码。该代码能够纠正每个RS块最多 $t = 3$ 个符号错误。相同的RS代码用于64-QAM和256 QAM。然而，FEC帧格式对于每种调制类型是不同的，如稍后的子节中所述。

本子节中描述了里德-所罗门编码器如何实现。利用系统编码器在GF（128）上实现 $t = 3$ ，（128,122）扩展的里德-所罗门码。用于在GF（128）上形成场的本原多项式是：

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1$$

其中：

$$p(x) = 0$$

编码器使用的生成多项式是：

$$\begin{aligned} g(x) &= (x + \alpha)(x + \alpha^2)(x + \alpha^3)(x + \alpha^4)(x + \alpha^5) \\ &= x^5 + \alpha^{52}x^4 + \alpha^{116}x^3 + \alpha^{119}x^2 + \alpha^{61}x + \alpha^{15} \end{aligned}$$

输入到编码器的消息多项式由122,7位符号组成，如下所述：

$$m(x) = m_{121}x^{121} + m_{120}x^{120} + \dots + m_1x + m_0$$

此消息多项式首先乘以 x^5 ，然后除以生成多项式 $g(x)$ 以形成余数，如下所述：

$$r(x) = r_4x^4 + r_3x^3 + r_2x^2 + r_1x + r_0$$

该余数构成五个奇偶校验符号，然后将其添加到消息多项式中以形成127符号代码字，该代码字是生成多项式的偶数倍。

现在，生成的代码字由以下多项式描述：

$$c(x) = m_{121}x^{126} + m_{120}x^{125} + m_{119}x^{124} + \dots + r_4x^4 + r_3x^3 + r_2x^2 + r_1x + r_0$$

有效的代码字将具有 α 的第一到第五幂的根。

通过以 α 的六次方评估码字来生成扩展奇偶校验符号（ c_- ）。

$$c_- = c(\alpha^6)$$

关于交织能力，指定了两种不同的操作模式，以下称为1级和2级。

1级仅指定用于64-QAM传输。此模式适用于传统64-QAM数字机顶盒的安装基础。在1级操作时，将支持单个交织深度；即 $I = 128$ ， $J = 1$ 。

2级应包含64-QAM和256-QAM传输，并且两种调制方案都能够支持可变交织。这将包括相对于标称64-QAM（1级）配置的放大和缩小的交织深度。在FEC帧同步间隔期间在带内发送四个数据位，以将交织参数传送给给定信道的接收机。

表B.1描述了1级操作的交织器参数，以及相关的延迟和突发保护。表B.2描述了将4位带内控制字解码为用于2级操作的I和J交织参数，以及相关的突发保护和延迟。

表B.1 – 1级交织

| 控制字 (4位) | I (# of taps) | J (增量) | 突发保护 | 延迟 |
|-------------|---------------|--------|------------|--------|
| xxxx | 128 | 1 | 95 μ s | 4.0 ms |

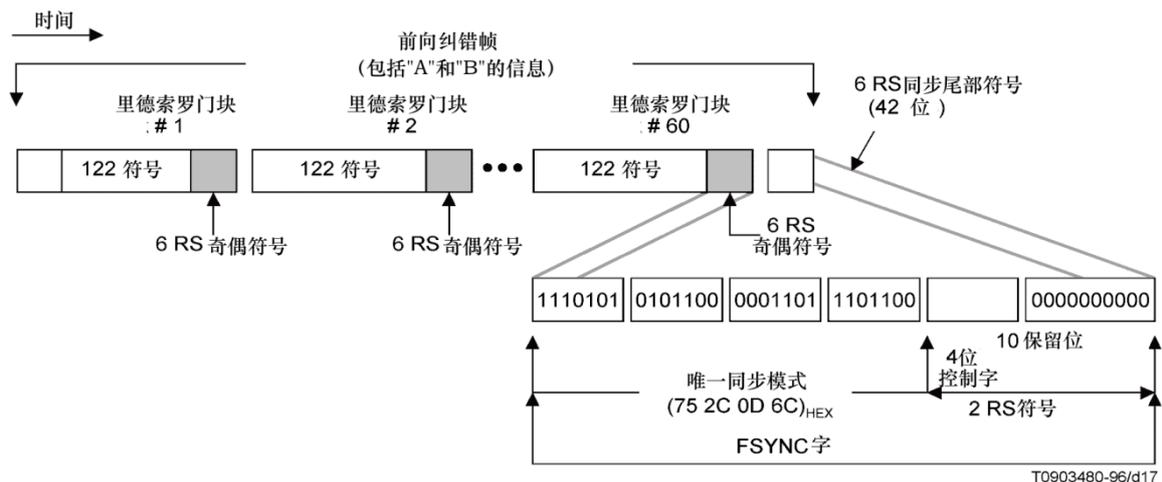
表B.2 – 2级交织

| 控制字 (4位) | I (# of taps) | J (增量) | 突发保护 64-QAM/256-QAM | 延迟 64-QAM/256-QAM |
|-------------|---------------|--------|--------------------------|----------------------|
| 0001 | 128 | 1 | 95 μ s /66 μ s | 4.0 ms/2.8 ms |
| 0011 | 64 | 2 | 47 μ s /33 μ s | 2.0 ms/1.4 ms |
| 0101 | 32 | 4 | 24 μ s /16 μ s | 0.98 ms/0.68 ms |
| 0111 | 16 | 8 | 12 μ s /8.2 μ s | 0.48 ms/0.33 ms |
| 1001 | 8 | 16 | 5.9 μ s /4.1 μ s | 0.22 ms/0.15 ms |
| 1011 | 保留 | | | |
| 1101 | 保留 | | | |
| 1111 | 保留 | | | |
| 0000 | 128 | 1 | 95 μ s /66 μ s | 4.0 ms/2.8 ms |
| 0010 | 128 | 2 | 190 μ s /132 μ s | 8.0 ms/5.6 ms |
| 0100 | 128 | 3 | 285 μ s /198 μ s | 12 ms/8.4 ms |
| 0110 | 128 | 4 | 379 μ s /264 μ s | 16 ms/11 ms |
| 1000 | 128 | 5 | 474 μ s /330 μ s | 20 ms/14 ms |
| 1010 | 128 | 6 | 569 μ s /396 μ s | 24 ms/17 ms |
| 1100 | 128 | 7 | 664 μ s /462 μ s | 28 ms/19 ms |
| 1110 | 128 | 8 | 759 μ s /528 μ s | 32 ms/22 ms |

B.5.3 帧同步序列

帧同步序列尾部描绘FEC帧，提供同步RS编码、交织和随机化。另外，仅用于256-QAM的网格组与FEC帧对齐。FEC成帧不执行网格解码器同步的MPEG数据包。对于64和256-QAM，RS块和7位符号结构与帧的末端对齐。

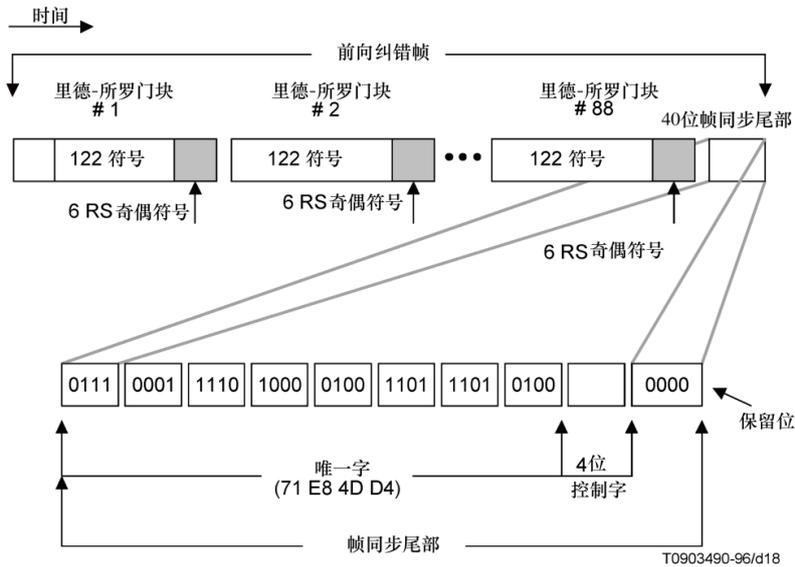
对于64-QAM，FEC帧由42位同步尾部组成，其附加到60个RS块的末尾，每个RS块包含128个符号。每个RS符号由7位组成。因此，在该FEC帧中总共有53 760个数据位和42个帧同步尾部位。帧同步尾部的4个7位符号包含28位“唯一”同步模式（1110101 0101100 0001101 1101100）或（75 2C 0D 6C）_{HEX}。剩余的2个符号（14比特）如下使用：前4比特用于交织器模式控制，10比特被保留并设置为零。帧同步尾部由编码器插入并在解码器处检测。解码器电路搜索该模式并在找到时确定帧边界和交织器深度模式的位置。64-QAM的FEC帧如图B.9所示。



图B.9 – 64-QAM的帧数据包格式

对于256-QAM，FEC帧由40位同步尾部组成，该尾部附加到88个RS块的末尾，每个RS块包含128个符号。每个RS符号由7位组成。因此，在该FEC帧中总共有78 848个数据位和40个帧同步尾部位。40位帧同步尾部分为如下：32位是“唯一”同步模式（0111 0001 1110 1000 0100 1101 1101 0100）或（71 E8 4D D4）_{HEX}，4位是确定大小的控制字，所使用的交织器的4位是保留字，其被设置为零。256-QAM的FEC帧如图B.10所示。

注意，在发送的RS块和传输数据包之间不存在同步关系。因此，独立于RS帧同步获得MPEG-2传送流数据包同步。这使FEC和传输层保持解耦和独立。



图B.10 – 256-QAM的帧数据包格式

B.5.4 随机化

图B.11所示的随机化发生器是前向纠错（FEC）框图中的第三层处理程序。随机化发生器使星座中符号的均匀分布，符号的均匀分布可以使解调器保持适当固定。随机化发生器将GF（128）上7位符号的伪随机噪声（PN）序列（即进位反加运算）添加到前向纠错（FEC）帧内的符号上，以确保随机传输序列。

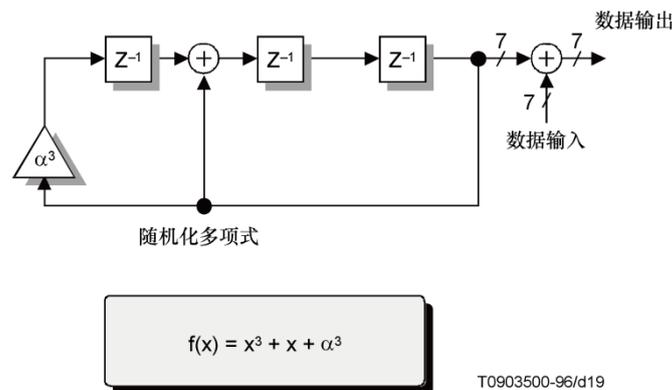
对于64-和256-QAM来说，随机化发生器在前向纠错（FEC）帧尾部期间初始化，并在尾部后的第一个符号处启用。因此，尾部本身不随机化，初始化的输出值随机化第一个数据符号。

初始化被定义为预加载到图B.11所示的随机化发生器结构的'所有'状态。随机化发生器使用由GF（128）多项式指定的线性反馈移位寄存器，其定义如下：

$$f(x) = x^3 + x + \alpha^3$$

其中：

$$\alpha^7 + \alpha^3 + 1 = 0$$



图B.11 – 随机化发生器（7位符号）

B.5.5 网格编码调制

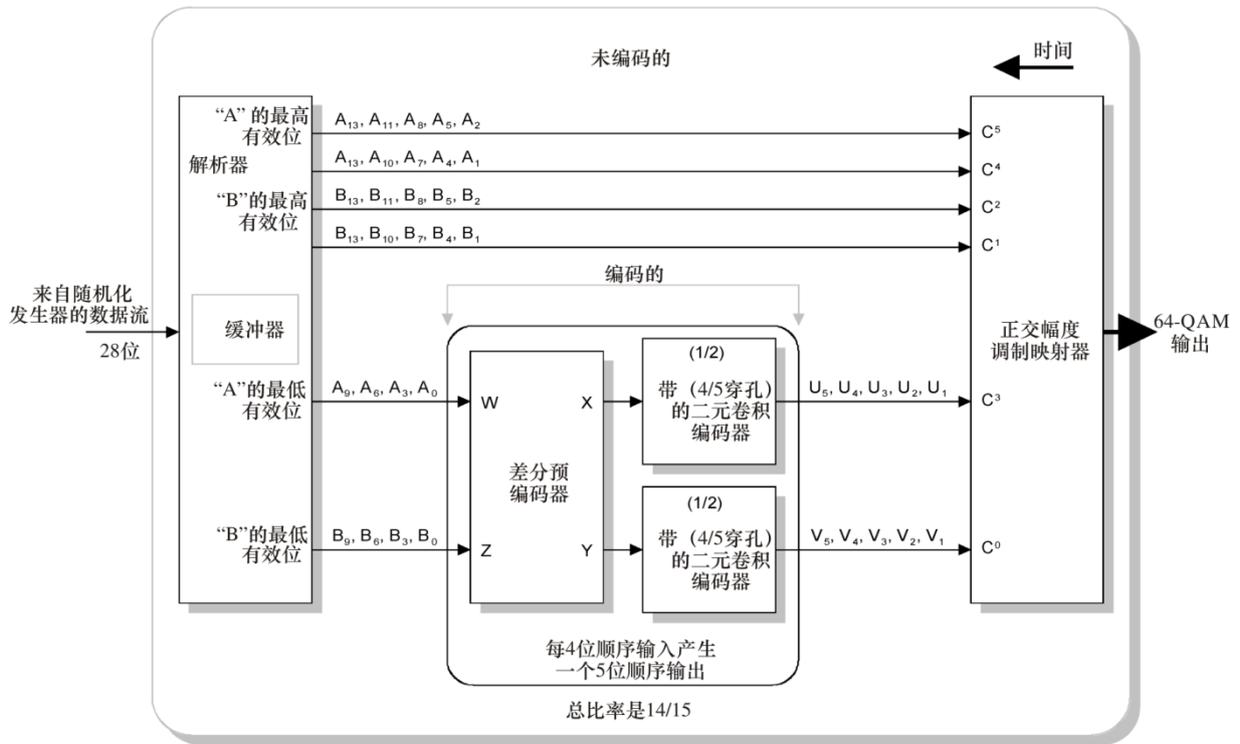
作为级联编码方案的一部分，内部代码采用网格编码。它允许引入冗余并通过增加符号星座而不增加符号速率来提高阈值信噪比（SNR）。因此，它被更恰当地称为“网格编码调制”。

B.5.5.1 64-QAM调制方式

对于64-QAM来说，网格编码调制器的输入是一个由4个7位RS符号组成的28位序列，这些符号以成对的'A'符号和'B'符号标记。图B.12显示了64-QAM网格编码调制器的框图。所有28位都分配给一个网格组，其中每个网格组形成5-QAM符号，如图B.13所示。

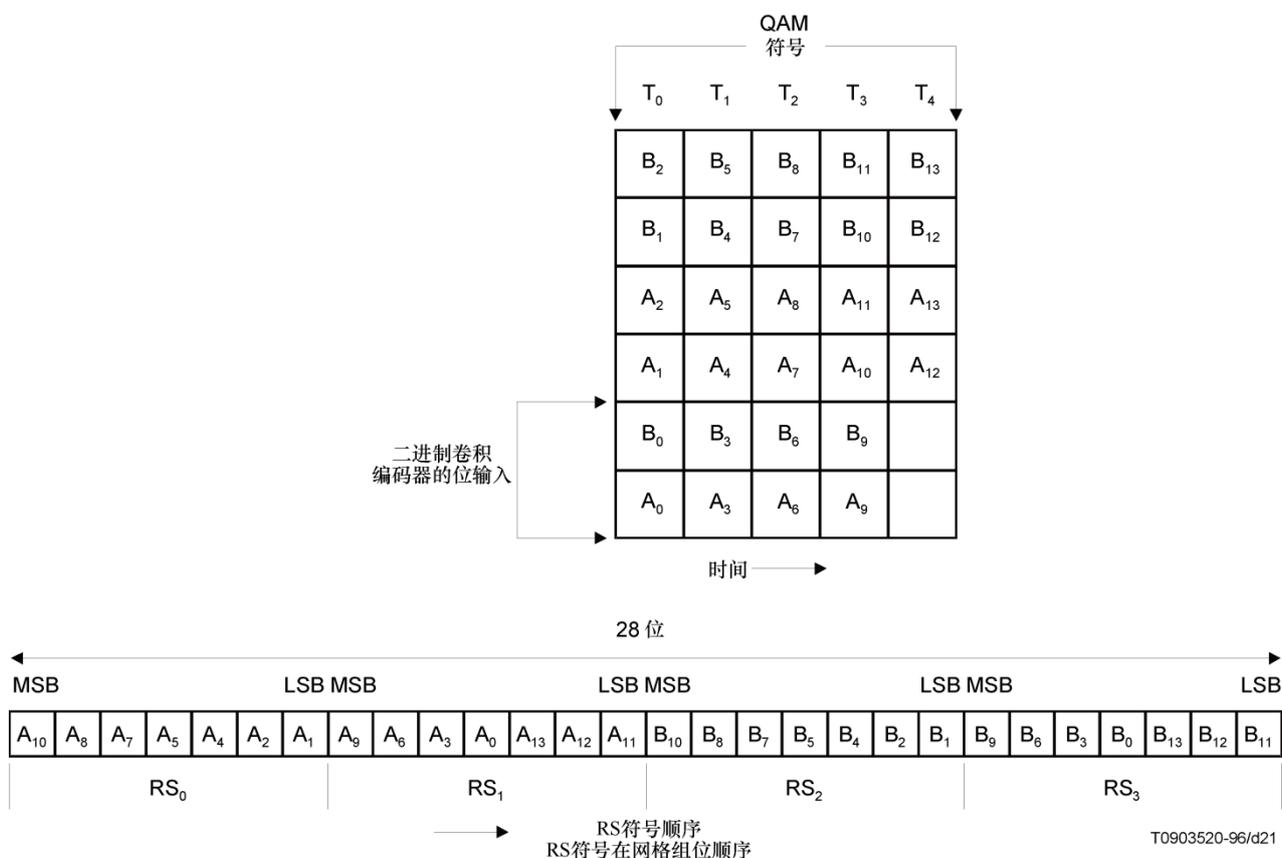
在构成网格组的28个输入位中，网格组中的两组4位差分预编码比特流中的每一组由二进制卷积编码器（BCC）分别编码。每个二进制卷积编码器（BCC）产生5个编码位，如图B.12所示。其余的位不编码发送到映射器。这将产生30位的总输出。因此，64-QAM网格编码调制的总码率为14/15。

网格组由以下RS符号组成：对于“A”符号，从最高有效位（MSB）到最低有效位（LSB）， A_{10} 、 A_8 、 A_7 、 A_5 、 A_4 、 A_2 、 A_1 和 A_9 、 A_6 、 A_3 、 A_0 、 A_{13} 、 A_{12} 、 A_{11} 读取RS符号。第二个符号的四个最高位（MSBs）是二进制卷积编码器（BCC）的输入，一次一位，最低有效位（LSB）优先。第二个符号的其余位和第一个符号的所有位都输入到映射器，未编码，最低有效位（LSB）优先，一次输入一位。发送到二进制卷积编码器（BCC）的四个位将产生5个标记为 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 、 U_5 的编码位。对“B”位进行相同的处理。该过程见图B.12。64-QAM中，4个RS符号可以方便地放入一个网格组中，这种情况下，同步字可能占据网格组中的每个位位置。



T0903510-96/d20

图B.12 – 64-QAM网络编码调制器框图

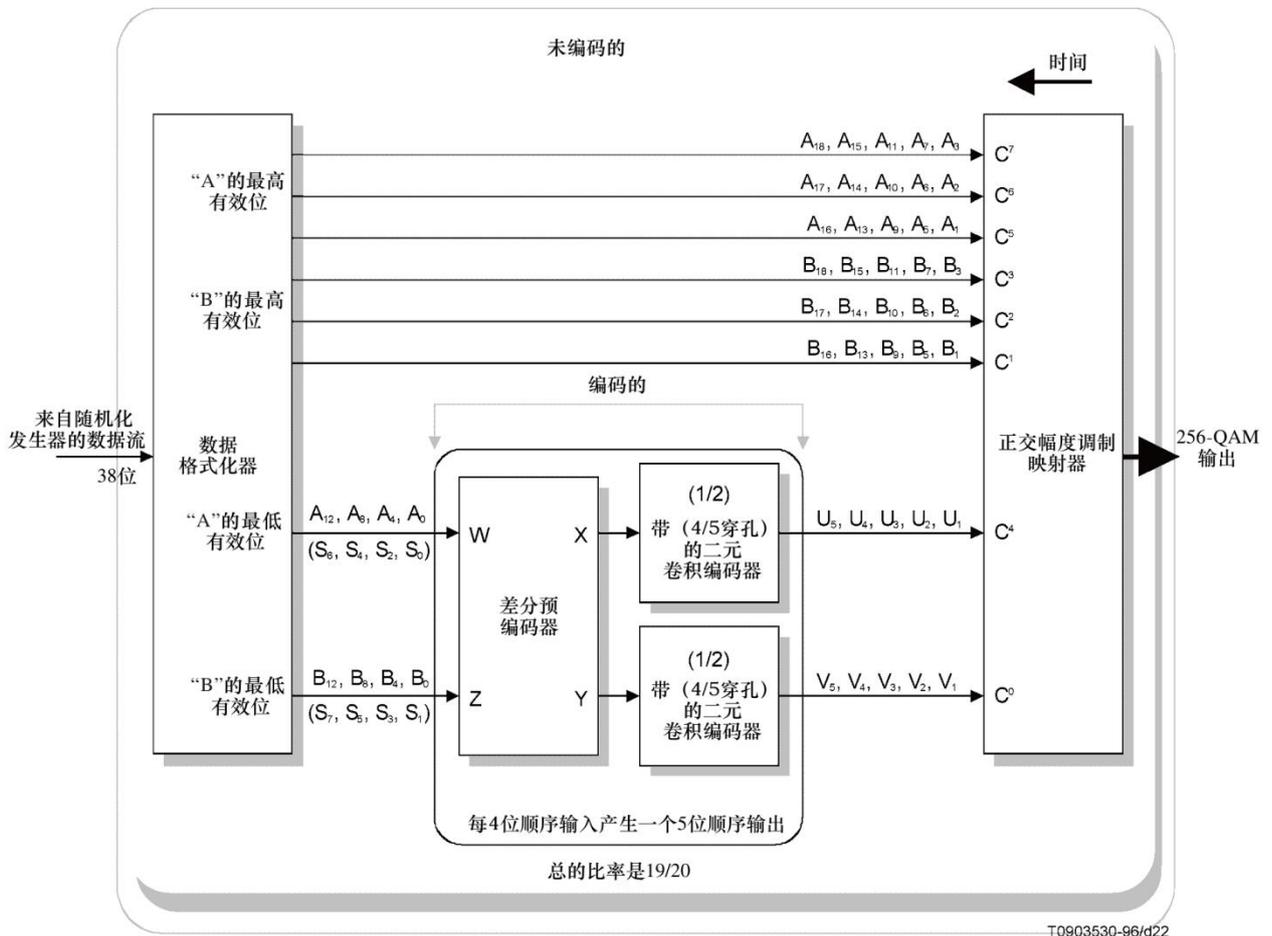


图B.13 – 64-QAM网格组

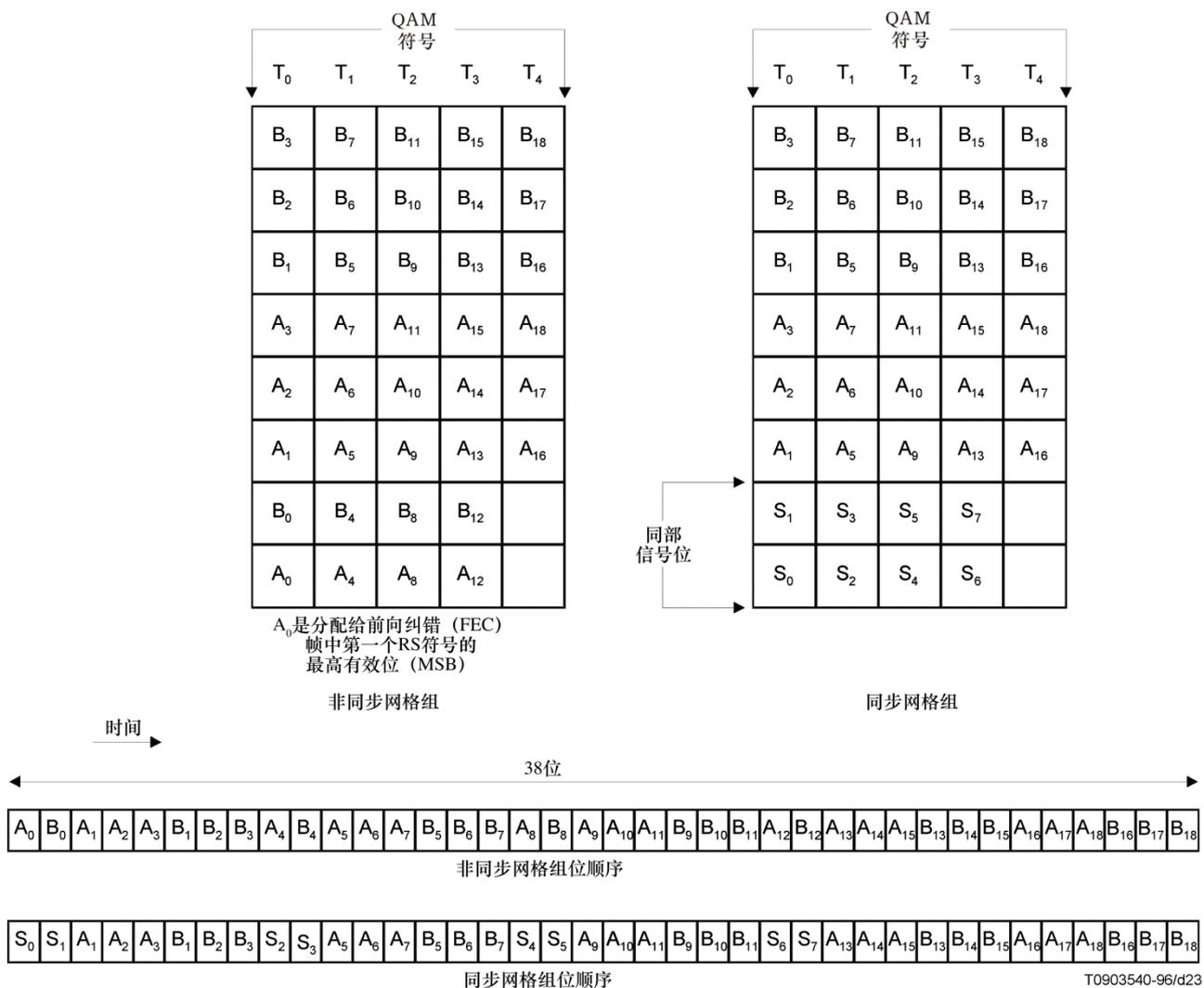
B.5.5.2 256-QAM调制模式

256-QAM采用的网格编码与64-QAM类似，具有相同的二进制卷积编码器（BBC），相同的速率为1/2的发生器和相同的4/5穿孔矩阵。256-QAM网格编码调制器如图B.14所示。在这种情况下，所有FEC帧同步信息仅嵌入到网格组的卷积编码位位置中，如图B.15所示。

256-QAM中有两种不同类型的网格组：以下称为非同步组和同步组。每个网格组在调制器上生成5-QAM符号，非同步组包含38个数据位，同步组包含30个数据位和8个同步位。图B.15显示了非同步网格组和同步网格组。由于每个FEC帧有88个RS块加上40个帧同步位，因此每个帧总共有2076个网格组。在这些网格组中，2071个是非同步网格组，5个是同步网格组。5个同步网格组出现在帧的末尾。帧同步尾部与网格组对齐。在编码器中，网格组进一步分为两组：一个未编码比特流和一个编码比特流。FEC帧中第一个RS符号的MSB分配给第一个非同步网格组中的第一个位，如图B.15中的顺序所示。每个BBC的输出分别标记为U1到U5和V1到V5的五个奇偶校验位，如图B.14所示。



图B.14 – 256-QAM网络编码调制器框图



图B.15 – 256-QAM同步和非同步网格组

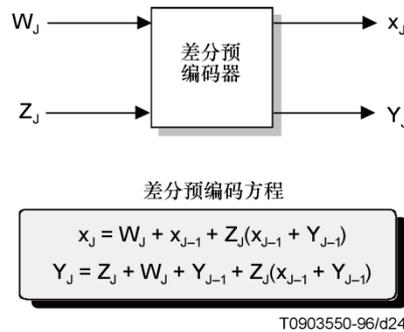
为了从RS代码字中组成网格组，RS代码字从帧同步尾部后第一个RS代码字的第一个符号的最高有效位 (MSB) 开始序列化。位按顺序从RS符号放入网格组位置： $A_0 B_0 A_1 \dots B_3 A_4 B_4 \dots B_{16} B_{17} B_{18}$ 。如图B.15所示。对于同步网格组来说，来自序列化RS符号的位从位置A1开始，而不是A0。在一个前向纠错帧中的最后五个网格组中，每个网格组包含40个同步位中的8个，如图B.10所示的帧同步跟踪中的S0 S1 ... S7。

在构成格架组的38个输入位中，格架组中的两组4位类型的差分预编码位流分别由二进制卷积编码器 (BCC) 编码。每个二进制卷积编码器 (BCC) 产生5个编码位，如图B.14所示。其余的位未编码发送到QAM映射器。这将产生每网格组40位的总输出。因此，256-QAM网格编码调制的总码率为19/20。

B.5.5.3 旋转不变预编码

图B.16所示的差分预编码器进行了90°旋转不变网格编码。64-和256-QAM调制均采用旋转不变编码。稳健的调制解调器设计的关键是能够很快地从载波相位偏移中恢复。非旋转不变编码需要在载波相位跟踪改变象限对齐时重新同步前向纠错，这会导致前向纠错输出出现大量错误

差分预编码器允许信息通过相位变化而不是绝对相位来传输。64-QAM是6位符号的第3位和第6位进行差分编码，而256-QAM是第4位和第8位进行差分编码。如果屏蔽如图B.18所示（标记为C³和C⁰）的64-QAM中的第3和第6位，以及如图B.19所示（标记为C⁴和C⁰）的256-QAM中的第4和第8位，其余位的90°旋转不变是符号星座标签中固有的。

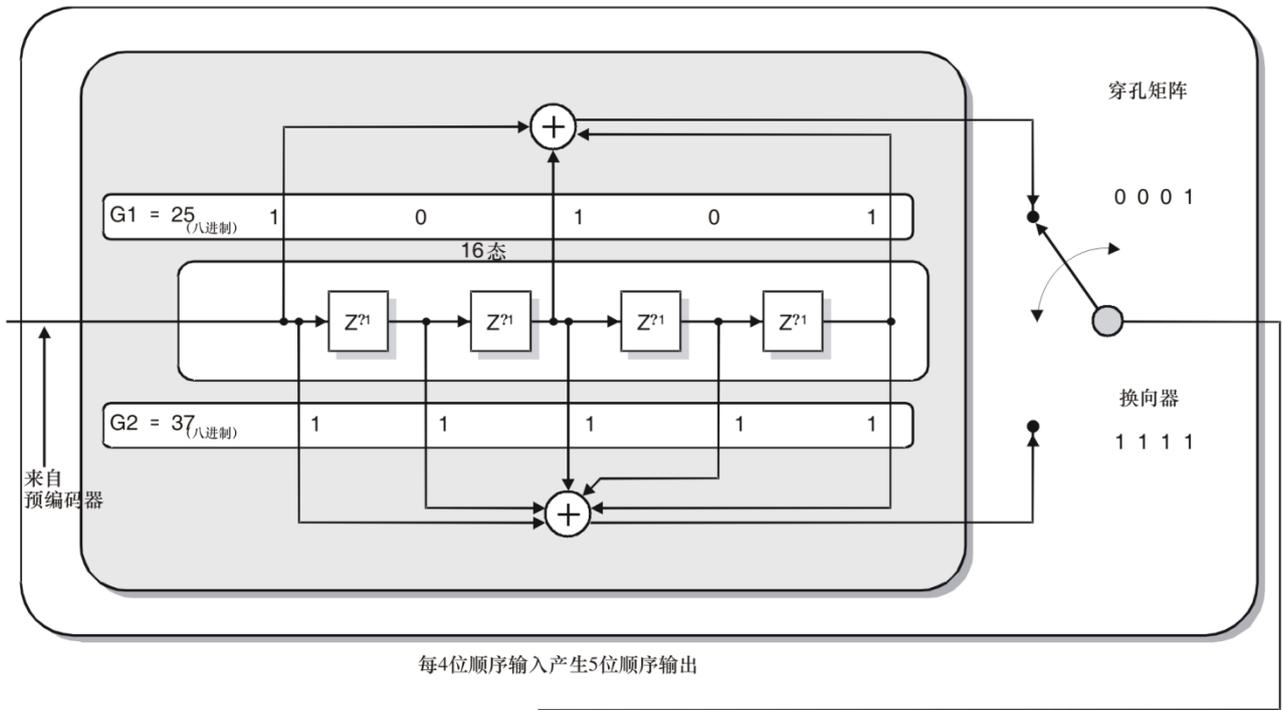


图B.16 – 差分预编码器

B.5.5.4 二进制卷积编码器

网格编码调制器包括一个穿孔率1/2二进制卷积编码器，用于将冗余引入网格组的最低有效位（LSB）。卷积编码器是一个16态非系统速率1/2编码器，其发生器为：G1 = 010 101, G2 = 011 111 (25,37_{octal})，或等于发生器矩阵 $[1 \oplus D^2 \oplus D^4, 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4]$ 。在网格组的开始，二进制卷积编码器换向器最初处于G1位置。提供给抽头延迟线的每个输入位会在输出端根据相关的发生器系数集生成两个位（G1，然后是G2）。对于每个网格组来说，4个输入位产生8个卷积编码位。编码器这次的输出是根据一个穿孔矩阵来选择的：[P1, P2] = [001; 1111]（“0”表示没有传输，“1”表示传输），该穿孔矩阵产生单个串行比特流。穿孔矩阵本质上是将速率为1/2的编码器转换为速率为4/5的编码器，因为穿孔后只保留了8位编码中的5位。穿孔编码器的内部结构如图B.17所示。

(1/2) 二进制卷积编码器



每4位顺序输入产生5位顺序输出

二进制卷积编码器结构

- 1) 16 态
- 2) 速率1/2二进制卷积编码器
- 3) 生成代码: $G1 = [010101], G2 = [011111] (25, 37_{octal})$
或生成矩阵 $[1(+)D^2(+)D^4, 1(+)D(+)D^2(+)D^3(+)D^4]$, 其中 $D = Z^{-1}$
- 4) 穿孔矩阵
注1- 0表示无传输
1表示传输
注2- (+) 表示进行异或操作

T0903560-96/d25

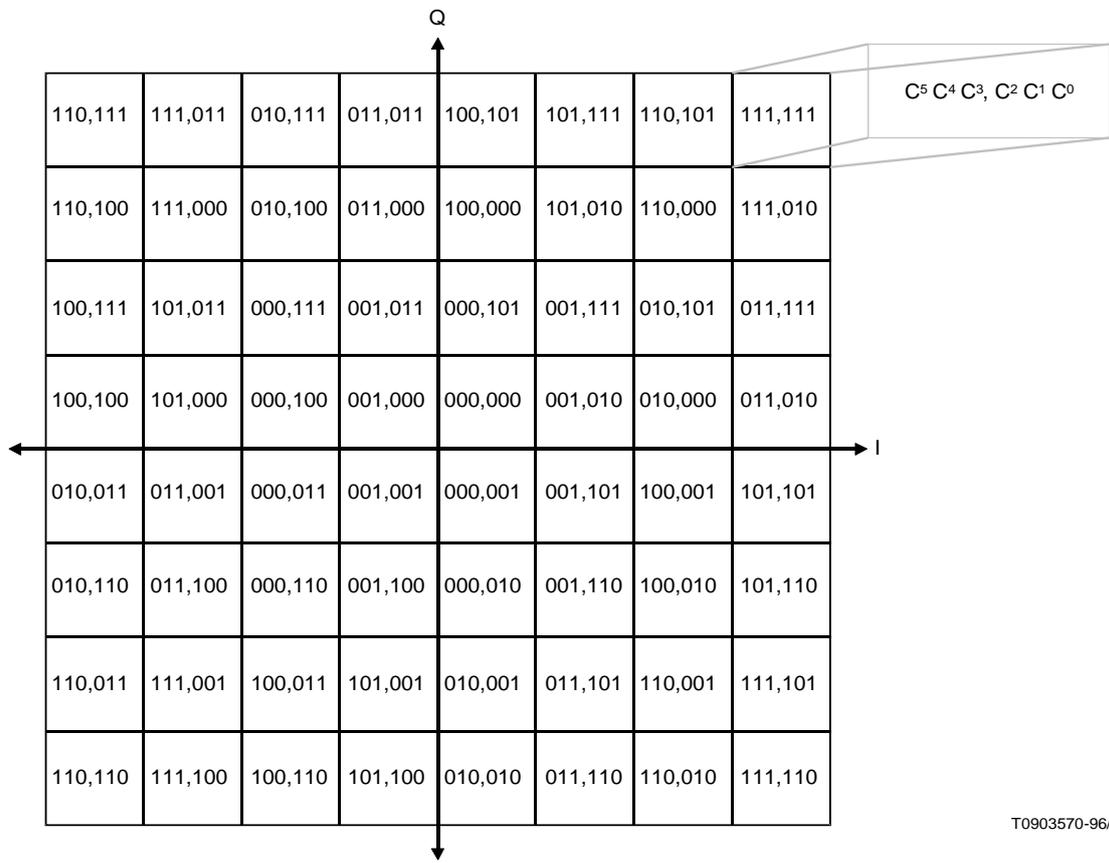
至QAM映射器

图B.17 – 穿孔二进制卷积编码器

B.5.5.5 QAM星座映射

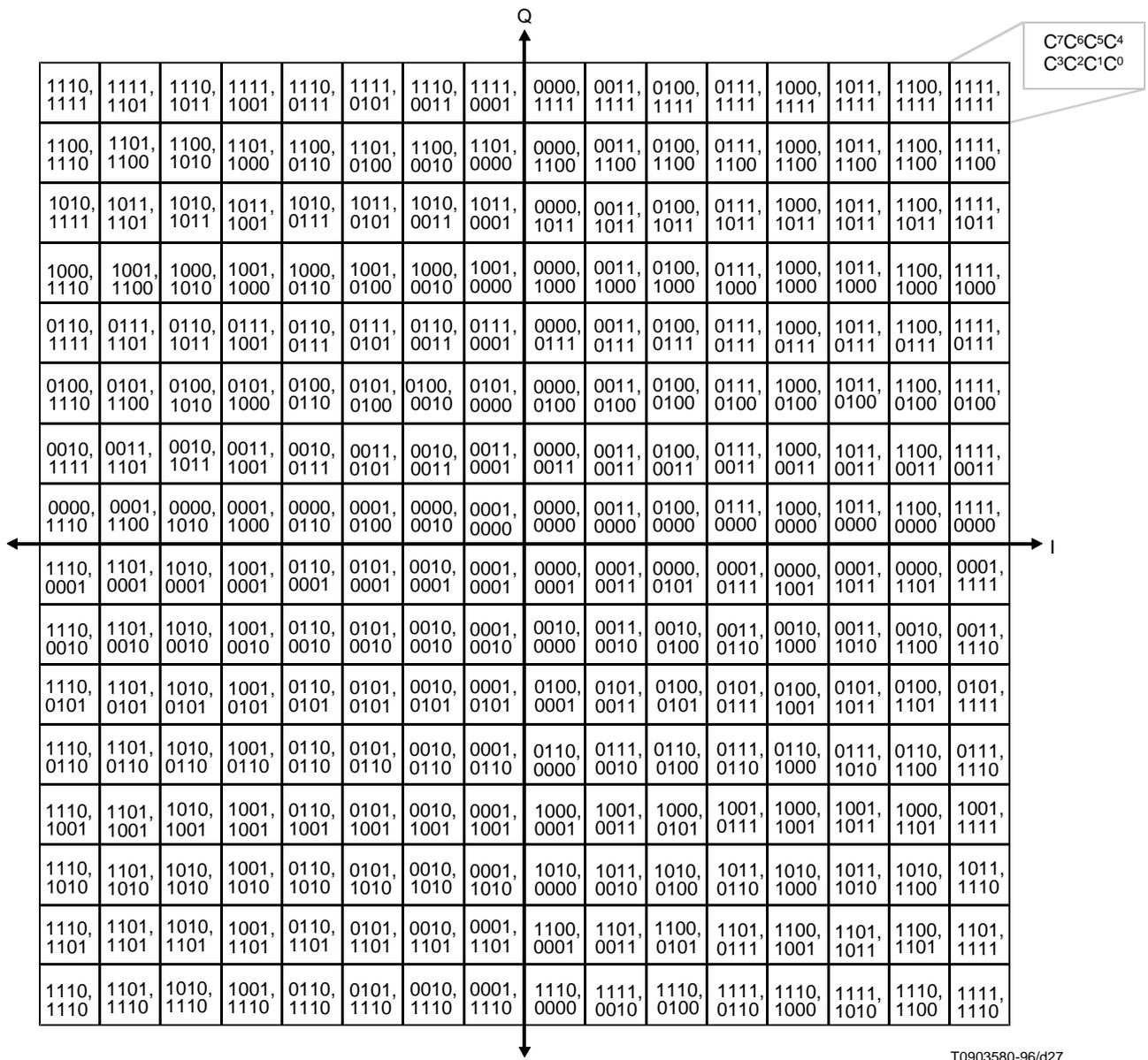
对于64-QAM来说, QAM映射器从网格编码调制器接收编码和未编码的3位'A'和'B'数据。它使用这些位来处理产生6位星座符号的查找表。然后将6位星座符号发送到64-QAM调制器, 在该调制器中生成图B.18所示的信号星座。

对于256-QAM, QAM映射器从网格编码调制器接收编码和未编码的4位'A'和'B'数据。它使用这些位来处理产生8位星座符号的查找表。然后将8位星座符号发送到256-QAM调制器, 在该调制器中生成图B.19所示的信号星座。



T0903570-96/d26

图B.18 – 64-QAM星座



图B.19 – 256-QAM星座

B.6 调制和解调

B.6.1 QAM特征

表B.3总结了64-QAM和256-QAM的电缆传输格式。表B.4总结了可变交织模式的相关特征。

表B.3 – 电缆传输格式

| 参数 | 64-QAM格式 | 256-QAM格式 |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 调制 | 64-QAM, 旋转不变编码 | 256-QAM, 旋转不变编码 |
| 符号大小 | “I”为3位, “Q”维度为3位 | “I”为4位, “Q”维度为4位 |
| 传输频段 | 54至860 MHz (注) | 54至860 MHz (注) |
| 信道间隔 | 6 MHz (注) | 6 MHz (注) |
| 符号率 | 5.056941 Msps ± 5 ppm (注) | 5.360537 Msps ± 5 ppm (注) |
| 信息位率 | 26.97035 Mbps ± 5 ppm (注) | 38.81070 Mbps ± 5 ppm (注) |
| 频率响应 | 平方根升余弦滤波器 (滚降≈ 0.18) | 平方根升余弦滤波器 (滚降≈ 0.12) |
| 前向纠错成帧 | 60个RS之后的42位同步跟踪 (见B.5.3) | 88个RS之后的40位同步跟踪 (见B.5.3) |
| QAM星座映射 | 每个符号6位 (见B.5.5) | 每个符号8位 (见B.5.5) |
| 注 – 这些值特定于6 MHz信道间隔。不同信道间隔的附加值集正在研究中。 | | |

表B.4 – 可变交织模式

| | 1级 | 2级 |
|-------|--------------------------------|---|
| QAM格式 | 64-QAM (见表B.3) | 64-或256-QAM (见表B.3) |
| 交织 | 固定交织 (见B.5.2) I = 128 J = 1 | 可变交织 (见B.5.2) I = 128,64,32,16,8 J = 1,2,3,4,5,6,7,8,16 |

B.6.2 QAM调制器射频 (RF) 输出

射频调制的QAM信号 $s(t)$ 由以下公式给出:

$$s(t) = I(t) \times \cos(2\pi ft) + Q(t) \times \sin(2\pi ft)$$

其中 t 表示时间, f 表示RF载波频率, 其中 $I(t)$ 和 $Q(t)$ 分别是星座符号相应的根奈奎斯特滤波的基带正交分量。

附件C

数字多节目系统C

(本附件是本建议书不可分割的组成部分)

C.1 引言

本附件描述了用于电缆配线的数字多节目系统的成帧结构、信道编码和调制。

系统采用基于运动图像专家组(MPEG-2)的传输复用(见参考文献[2]),保证与数字广播、综合业务数字(ISDN)网络或封装媒体等其他媒体的互操作性。成帧结构和信道编码与附件A相同。调制方案为64-QAM和256-QAM, QAM符号率和滚降系数针对6 MHz信道计划进行了优化。

该系统还允许向更高阶QAM星座进一步进化,目前正在研究对其信道编码和符号映射的适当修改。

C.2 电缆系统概念

电缆系统应定义为使基带电视信号适应电缆信道特性的设备功能块。

在电缆头端,电视基带信号可以来自广播、二次分发链路、贡献链路和本地节目源。

应采用以下过程,如图C.1所示。

C.2.1 基带接口和同步

该单元应使数据结构与信号源的格式相适应。成帧结构应符合MPEG-2传输层,包括同步字节。

C.2.2 Sync 1反演与随机化

该单元应根据MPEG-2成帧结构,每八个数据包反演一个MPEG-2同步字节(Sync 1),并应随机化数据流以进行频谱整形。

C.2.3 里德-所罗门(RS)编码器

该单元应将一个缩短的里德所罗门(RS)代码应用于每个随机传输数据包,以生成一个差错保护数据包。该代码也应用于同步字节本身。

C.2.4 卷积交错器

该单元执行一个深度 $I = 12$ 差错保护数据包的卷积交织。同步字节的周期性应保持不变。

C.2.5 字节到m元组的转换

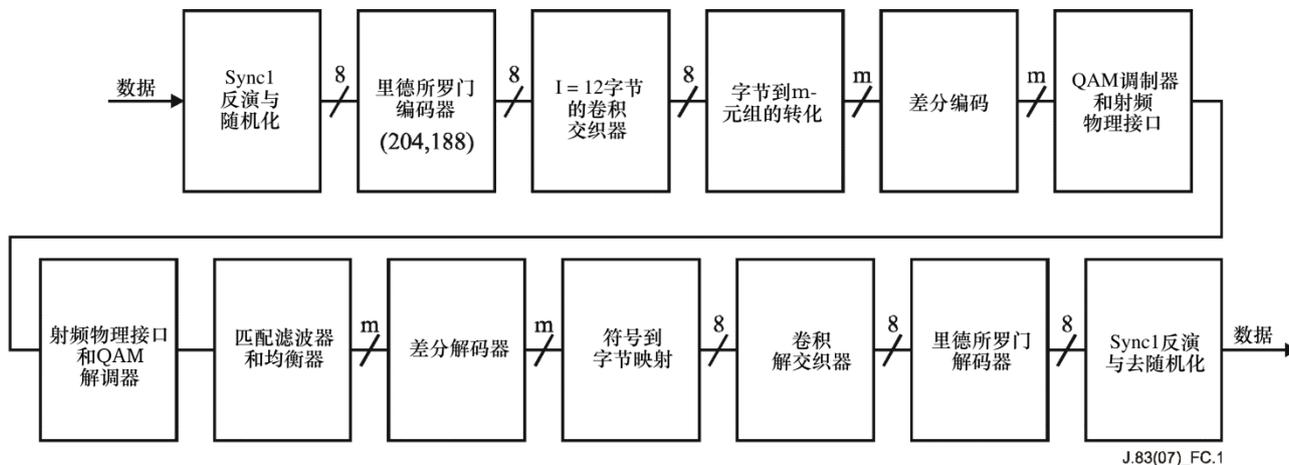
该单元应将交织器生成的字节转换为QAM符号。

C.2.6 差分编码

为了得到一个旋转不变的星座,该单元应采用每个符号的两个最高有效位(MSB)的差分编码。

C.2.7 QAM调制和物理接口

该单元在QAM调制前对I和Q信号进行平方根提升余弦滤波。然后将QAM调制信号连接到射频（RF）电缆信道。



图C.1 – 系统配置

C.2.8 电缆接收机

系统接收机应执行上述调制过程中所述的反向信号处理，以恢复基带信号。

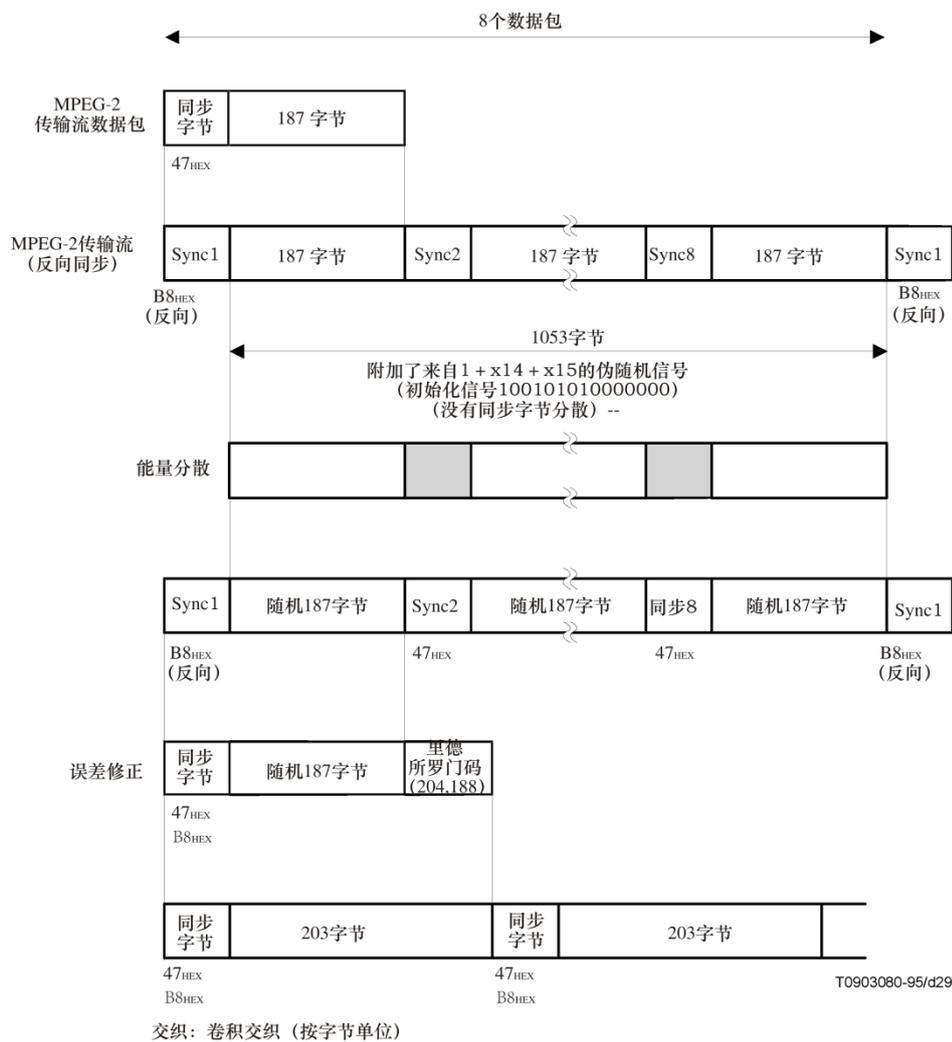
此外，每个电缆接收机应安装一个均衡器，以防止由于电缆系统中的反射引起的位误差增加。

C.3 MPEG-2传输层

数字多节目系统的传输层是基于MPEG-2的（见参考文献[2]）。传输多路复用在具有188字节的传输流数据包中执行，与MPEG-2一致。

C.4 成帧结构

成帧组织应基于MPEG-2传输数据包结构。系统成帧结构如图C.2所示。



图C.2 – 传输信号配置

C.5 信道编码

为了实现数字数据电缆传输所需的适当级别的误差防护，应使用基于里德-所罗门编码的前向纠错（FEC）。通过使用交织来实现对突发错误的纠正。

C.5.1 随机化

系统输入流应该以固定的长度数据包（见图C.2）来组织，遵循MPEG-2传输复用器。MPEG-2传输复用数据包的总包长度为188字节。包括1个同步字节。

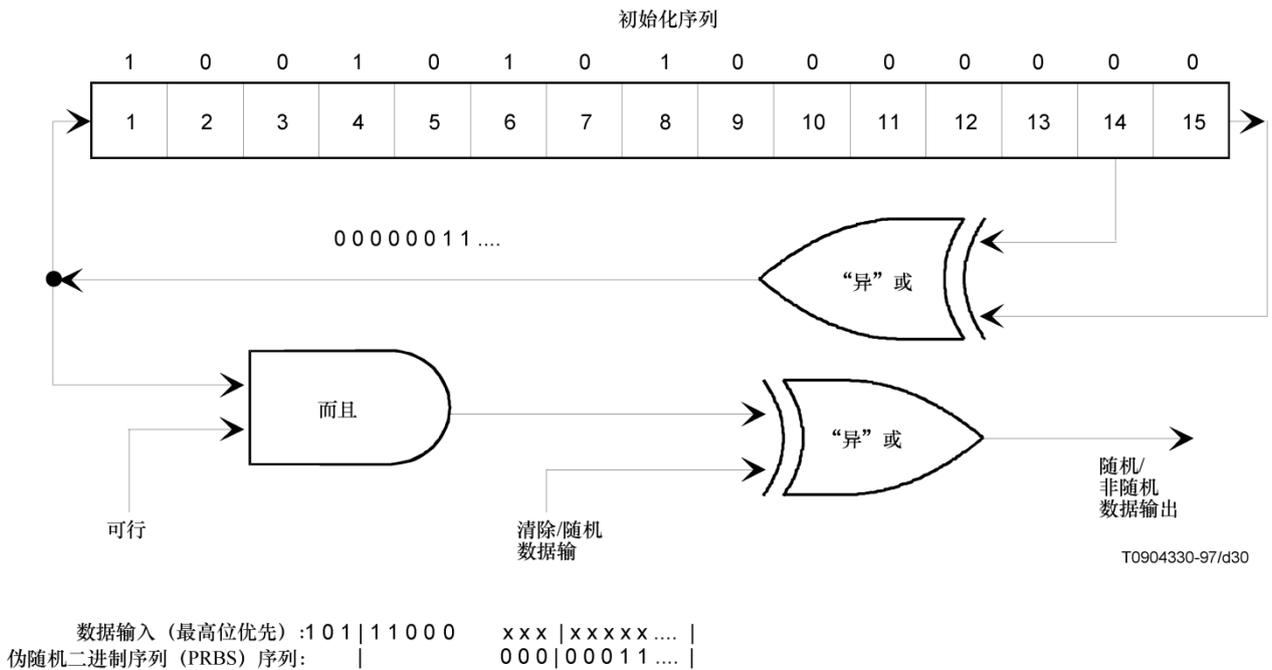
为了提供与其他媒介的最大兼容性，并确保足够的二进制转换用于时钟恢复，MPEG-2传输多路复用器输出端的数据应按照图C.3所示的配置随机分配。

伪随机二进制序列（PRBS）发生器的多项式应为：

$$x^{15} + x^{14} + 1$$

如图C.3中所示，序列“10010101000000”到PRBS寄存器中的加载应该在每8个传输数据包的初始处发起。为了向解扰码器提供一个初始信号，在一个有8个数据包的组中第一个传输数据包的MPEG-2同步字节被从47_{HEX}到B8_{HEX}按比特反转。

在PRBS发生器输出端的第一个比特应被应用于跟随在反转MPEG-2同步字节（即B8_{HEX}）之后的第一个字节的第一个比特（即MSB）。为了有助于其他同步功能，在随后的7个传输数据包的MPEG-2同步字节期间，PRBS的生成应该继续，但其输出应该被关闭，使这些字节不被随机化。从而，PRBS的周期应该是1503字节。



图C.3 – 扰码器/解扰器原理图

C.5.2 里德-所罗门编码

使用缩短的里德-所罗门编码（204，188）进行前向纠错。在里德-所罗门编码（255，239）电路中，输入数据字节前加51个字节的“0”，编码后删去，即可组织里德-所罗门编码。

代码生成器多项式：

$$g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \cdots (x + \lambda^{15})$$

其中：

$$\lambda = 02_{\text{HEX}}$$

场频信号发生器多项式：

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

C.5.3 卷积交织

按照图C.4的概念机制，深度 $I = 12$ 的卷积交织应该被应用于误码保护数据包。

交织器可以由深度 $I = 12$ 的分支组成，通过输入开关循环连接到输入字节流。每个分支应是一个带有深度 (M_j) 单元（其中 $M = 17 = N/I$ ， $N = 204 =$ 误差保护帧长度， $I = 12 =$ 交织深度， $j =$ 分支索引），先进先出（FIFO）的移位寄存器。FIFO的单元应包含一个字节，输入和输出开关应同步。

为了同步的目的，同步字节和反转同步字节应该总是导向交错器的“0”分支（对应于一个零时延）。

注－原则上，解交织器类似于交织器，但是分支指数被反转（即 $j = 0$ 对应于最大的时延）。解交织器同步可以通过将第一个识别的同步字节导入“0”分支中来实现。

C.6 调制

C.6.1 字节映射到符号

卷积交织后，应执行字节到符号的精确映射。映射应依赖于在调制系统中使用字节边界。

在每种情况下，符号 Z 的最大有效位（MSB）应取自字节 V 的最大有效位（MSB）。相应地，符号的下一个有效位应取自字节的下一个有效位。对于 2^m -QAM调制，该过程应将 k 字节映射成 n 符号，如：

$$8k = n \cdot m$$

图C.5对64-QAM（ $m=6$ 、 $k=3$ 、 $n=4$ ）和256-QAM（ $m=8$ 、 $k=3$ 、 $n=3$ ）的情况进行了说明。

C.6.2 差分编码

每个符号的两个最大有效位（MSBs）进行差分编码，获得一个 $\pi/2$ 旋转不变的QAM星座。两个最大有效位的差分编码应通过以下表达式给出：

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$
$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

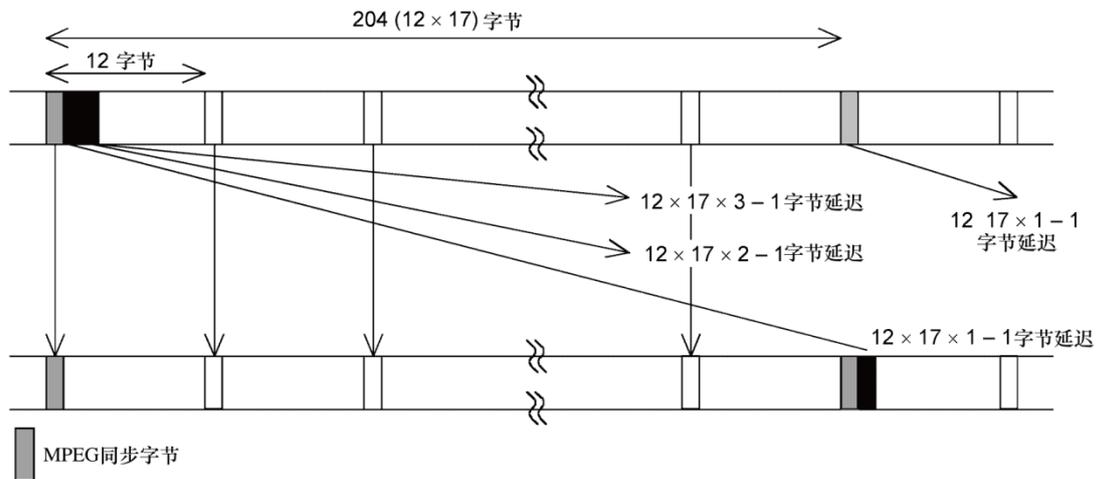
图C.6给出了64-QAM和256-QAM的字节到符号转换的例子。

C.6.3 QAM星座

该系统可适应6 MHz的信道间隔。本节所述的字节到调制方案与C.6.1中给出的字节到符号映射方法直接相关。

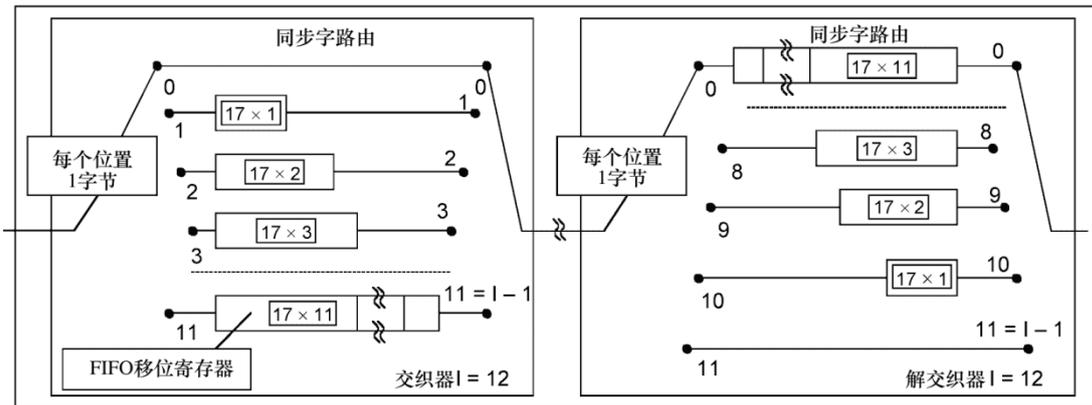
此系统的调制是在星座中带有64个点（64-QAM）和256个点（256-QAM）的正交幅度调制（QAM）。

图C.7给出了64-QAM和256-QAM的系统星座图。



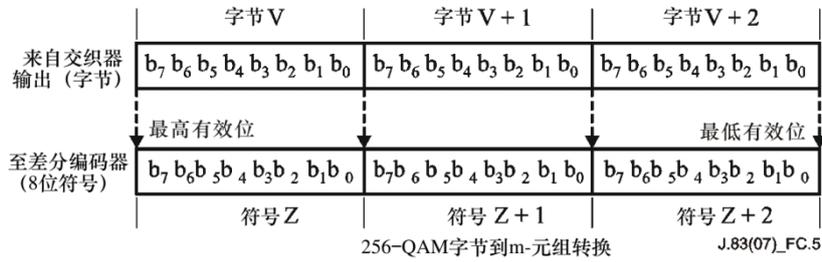
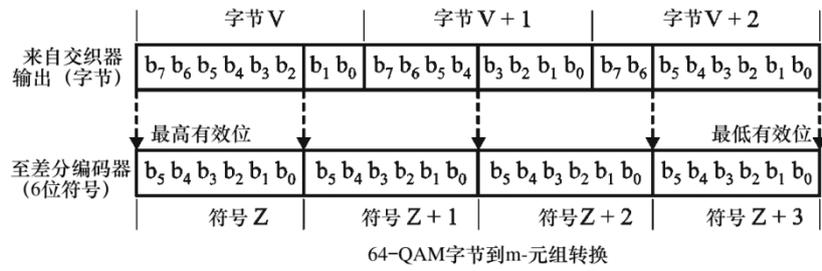
| | |
|--------|-------------------------|
| 交织深度 | $I (= 12)$ |
| 同步 | 路由开关 (周期 I) |
| 所需内存容量 | $1/2 \times I \times L$ |

$L (= 17 \times 11)$



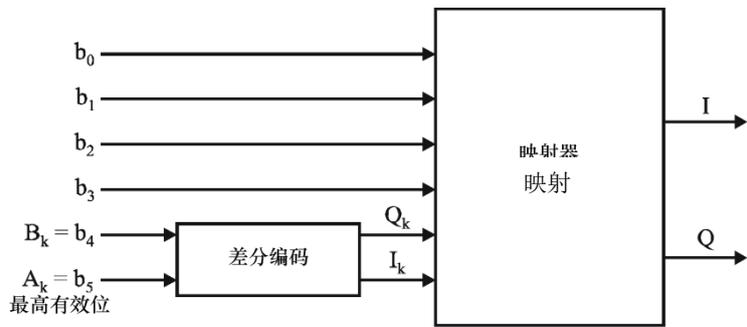
T0903100-95/d31

图C.4 – 交织配置

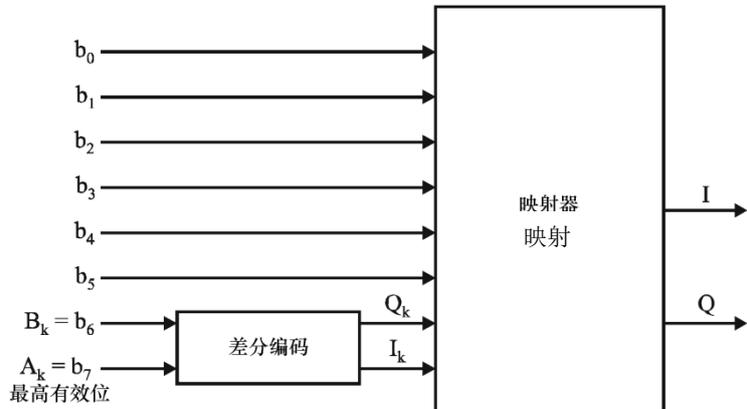


注1: b₀应理解为每个字节或m-元组的最低有效位 (LSB)。
 注2: 在这些转换中, 每个字节产生多个m-元组, 标记为Z、Z+1等, 其中Z在Z+1之前传输。

图C.5 – 64-QAM和256-QAM的字节到m-元组转换



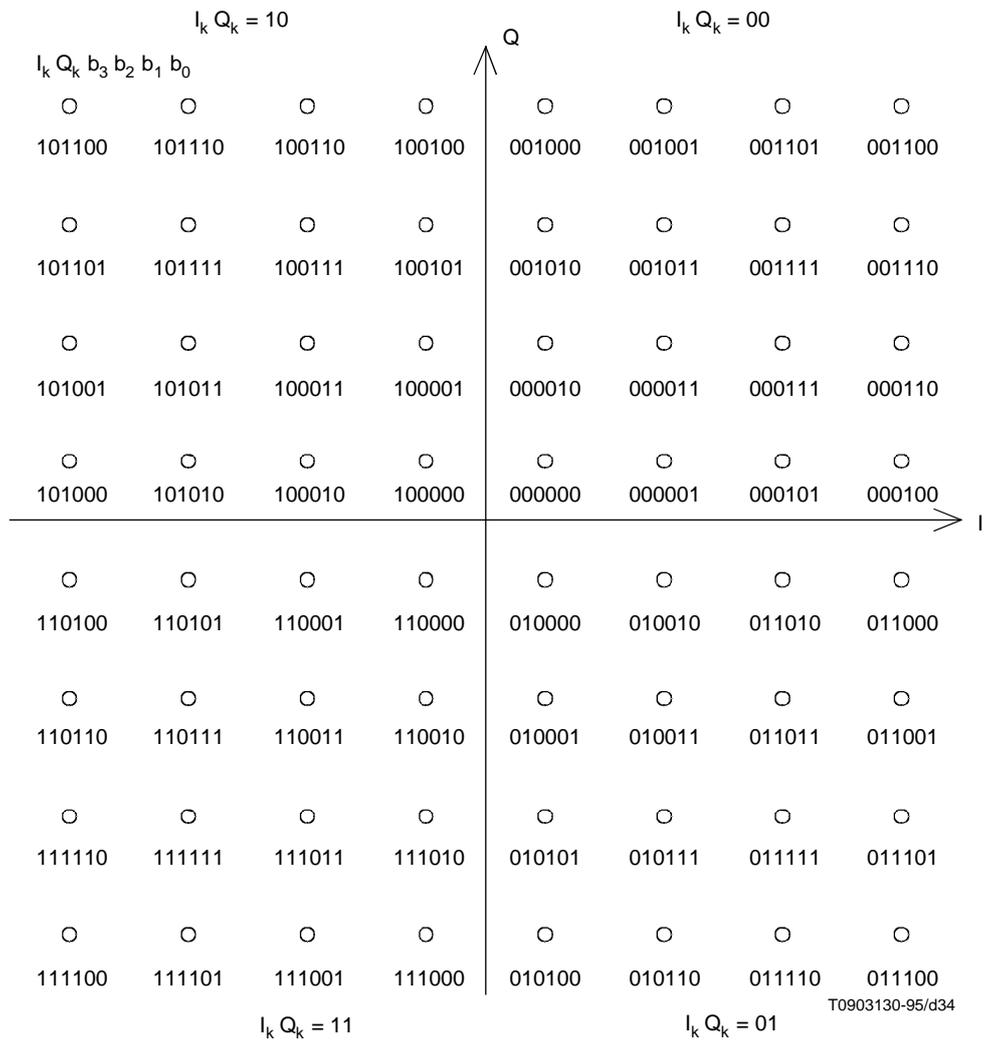
64-QAM字节到符号转换



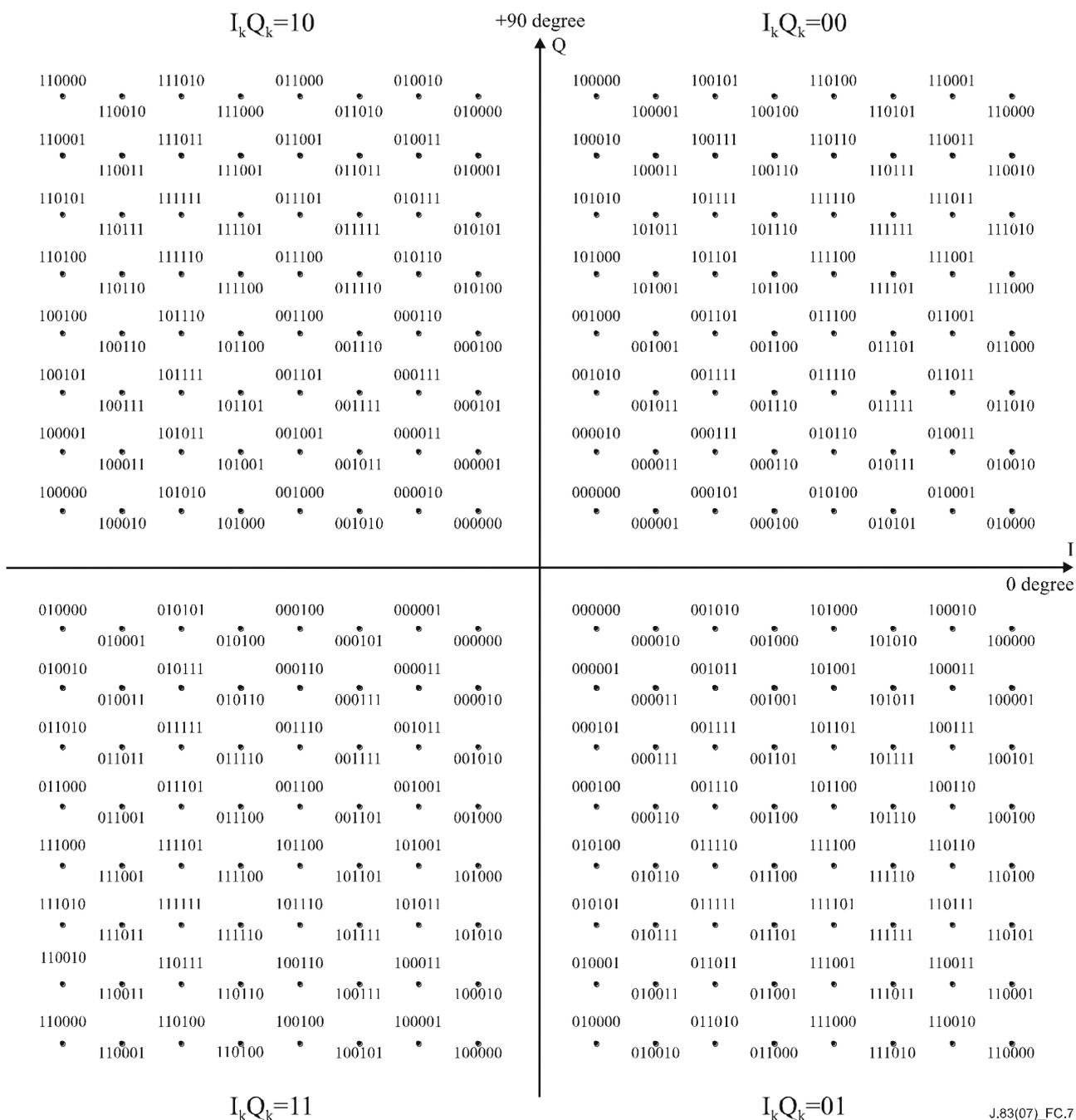
256-QAM字节到符号转换

J.83(07)_FC.6

图C.6 – 字节到符号转换以及两个最高有效位（MSBs）差分编码的例子



图C.7 – 第1部分：64-QAM星座图



J.83(07)_FC.7

图C.7 – 第2部分：256-QAM星座

C.6.4 滚降系数

调制前，I和Q信号平方根升余弦滤波。滚降系数为0.13。

平方根升余弦滤波器应具有以下公式定义的理论功能：

$$H(f)=1 \text{ for } |f| < f_N(1-\alpha)$$

$$H(f) = \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right]^{1/2} \text{ for } f_N(1-\alpha) \leq |f| \leq f_N(1+\alpha), H(f) = 0 \text{ for } |f| > f_N(1+\alpha)$$

其中：

$$f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2} \text{ is the Nyquist frequency and roll-off factor } \alpha = 0.13$$

注：下一小节给出了传输滤波器特性。滚降系数适用于具有相邻信道信号干扰（即来自电视信号等）和指定基带滤波器特性的情况。

C.6.5 基带滤波器特性

图C.8中给出的模板是奈奎斯特滤波器硬件实现的最低要求。该模板不仅考虑了数字滤波器的设计限制，还考虑了来自系统模拟处理组件（如D/A转换、模拟滤波等）的工件。

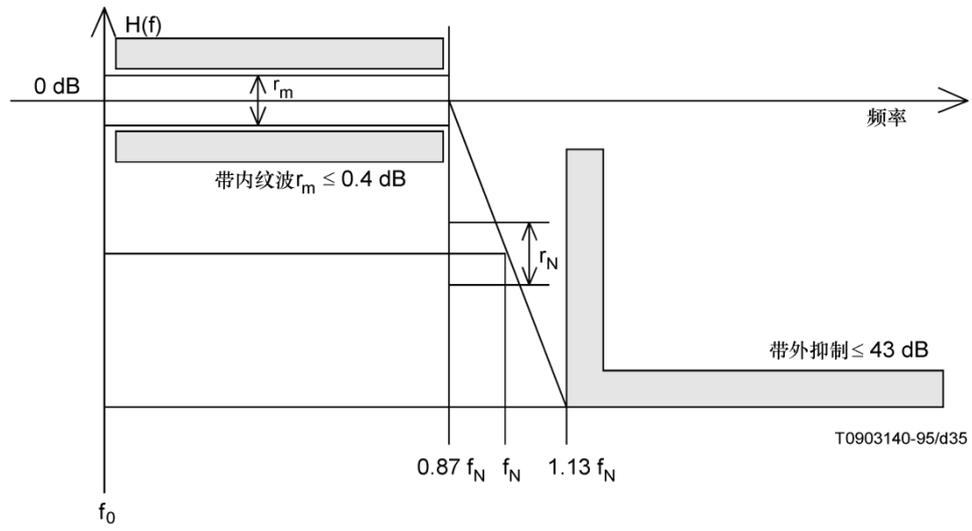
在 $(1-\alpha)f_N$ 的通带内，带内纹波 r_m 的值应低于 0.4 dB。带外抑制应大于 43 dB。奈奎斯特频率 f_N 处的纹波 r_N 应低于 1.0 dB。

在区间为 $((1-\alpha)f_N$ 和 $\leq 2.0 T_s$ (ns) at f_N 的通带中，群时延波动 $\leq 1.0 T_s$ (ns) 时，滤波器应为相位线性。

其中：

$$T_s = \frac{1}{R_s} \text{ is the symbol period}$$

注 – 本附件中给出的带内波纹和带外抑制值取决于电缆系统的运行条件，还需要进一步研究。



f_N 奈奎斯特频率

图C.8 – 半奈奎斯特基带滤波器幅度特性

附件D

数字多节目系统D

(本附件是本建议书不可分割的组成部分)

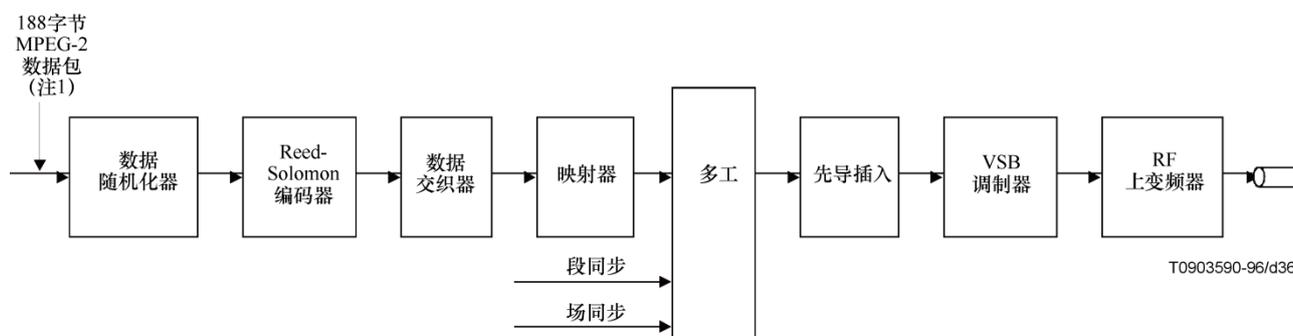
D.1 引言

本附件来自北美数字电视地面广播的工作；它描述了基于MPEG-2传输复用和16-VSB（残留边带）数字传输的有线数字多节目电视分发的成帧结构、信道编码和调制。

D.2 电缆系统的概念

16-VSB系统将在6 MHz信道¹中支持38.78 Mbit/s的标称有效载荷数据速率。代表性16-VSB电缆发射机的功能框图如图D.1所示。传输子系统对传输子系统的输入相当于由188字节MPEG兼容数据包组成的标称38.78 Mbit/s串行数据流，参见参考文献[2]（包括同步字节和187字节数据）¹。

输入数据被随机化，然后以里德-所罗门（RS）编码的形式处理前向纠错（FEC）（每个数据包添加20个RS奇偶校验字节），以及1/12数据字段交织。随机化和FEC处理不应用于传输数据包的同步字节，其通过如下所述的数据段同步信号的传输来表示。在随机化和前向纠错处理之后，执行卷积字节交织，然后将数据包分组格式化为数据帧以进行传输，并添加数据段同步和数据字段同步。



注1 - 由地面广播，卫星或本地发起提供。
注2 - 包括私人电缆[酒店，公寓楼，公寓和学校，
- 有线和NDS（多通道多点分配系统）- 无线微波]。

图D.1 - 16-VSB发射机（电缆或SMATV前端 - 注2）

¹ 6 MHz信道带宽的参数值；可以调整值以匹配其他信道带宽。

D.3 MPEG-2传输层

MPEG-2传输层在参考文献[2]中定义。用于MPEG-2数据的传输层由具有188字节的分组组成，其中一个字节用于同步目的，三个字节头部包含服务标识、加扰和控制信息，接着是184字节的MPEG-2或辅助数据。

D.4 成帧结构

图D.2显示了如何组织数据进行传输。每个数据帧由两个数据段组成，每个数据字段包含313个数据段。每个数据字段的第一个数据段是唯一的同步信号（数据字段同步），并包括接收机中均衡器使用的训练序列。剩余的312个数据段每个携带相当于两个188字节传输包及其相关的FEC开销。由于数据交织，每个数据段中的实际数据来自几个传输包。每个数据段由832个符号组成。前4个符号以二进制形式传输并提供段同步。该数据段同步信号还表示两个188字节MPEG兼容传输包中的每一个的同步字节。每个数据段的剩余828个符号携带表示两组187个数据字节的数据，每个数据字节后跟20个里德-所罗门字节。这828个符号作为16级信号传输，因此每个符号携带4位。因此，在每个数据段中携带 $828 \times 4 = 3312$ 位数据，这与发送两个受保护传输包的要求完全匹配：

$$187 \text{ data bytes} + 20 \text{ RS parity bytes} = 207 \text{ bytes}$$

$$2 \times 207 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} = 3312$$

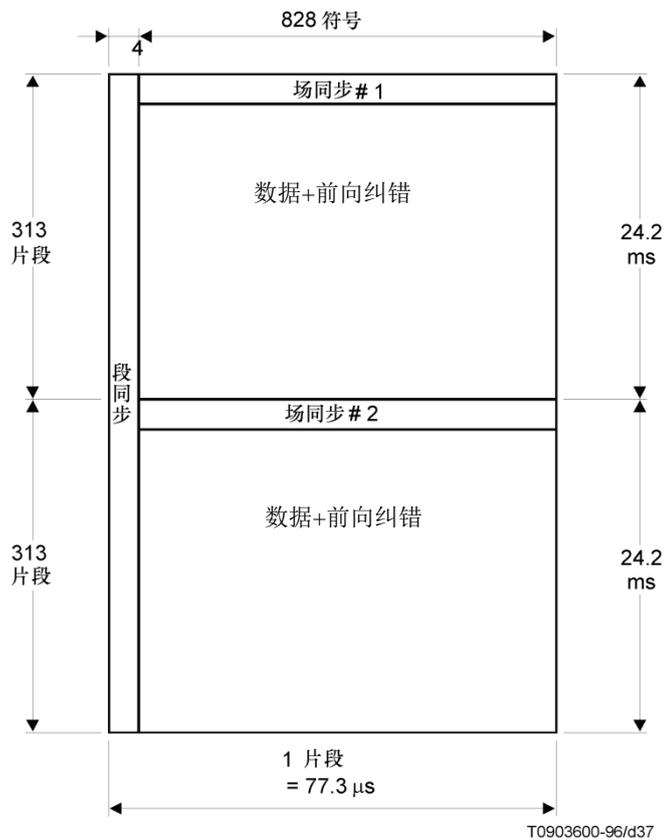
确切的符号指数由下面的等式给出：

$$S_r(\text{MHz}) = 4.5/286 \times 684 = 10.76 \dots \text{MHz}^1$$

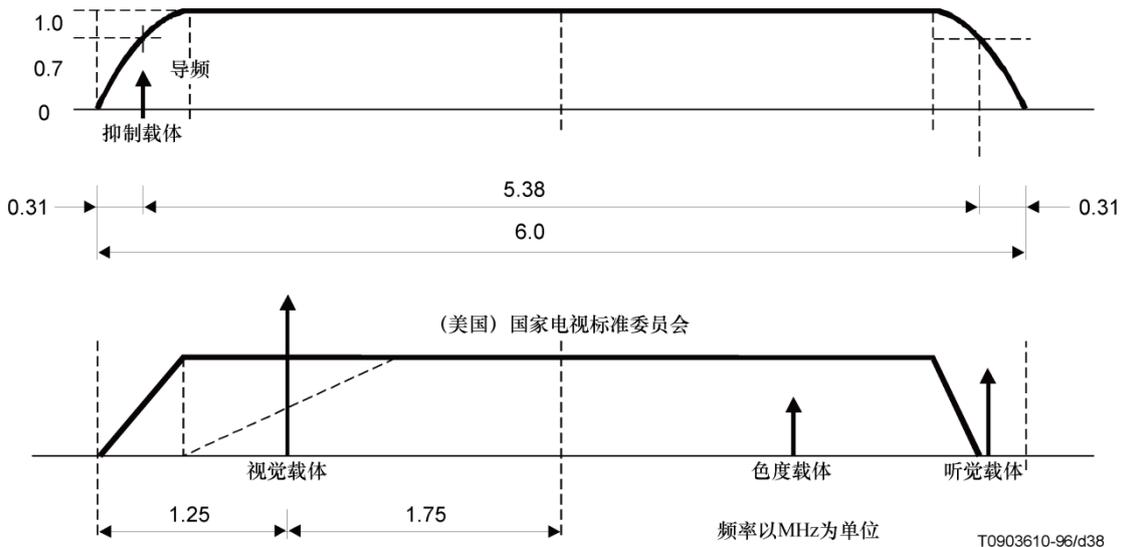
结合二进制数据段同步和数据字段同步信号的16级符号用于在抑制载波模式下调制单载波。然而，在传输之前，大多数下边带被移除。得到的频谱是平坦的，除了带边缘中的标称平方根升余弦响应导致620 kHz过渡区域。标称VSB传输频谱如图D.3¹所示。

在抑制载波频率，距离较低频带边缘310 kHz处，向信号添加小导频。

有线电视系统还可以在其他信道上传输标准电视信号，如图D.3所示。标称平均VSB信号功率比相邻信道中承载的标准电视信号的峰值同步功率低6 dB。



图D.2 – VSB数据帧



图D.3 – VSB和NTSC信道占用率

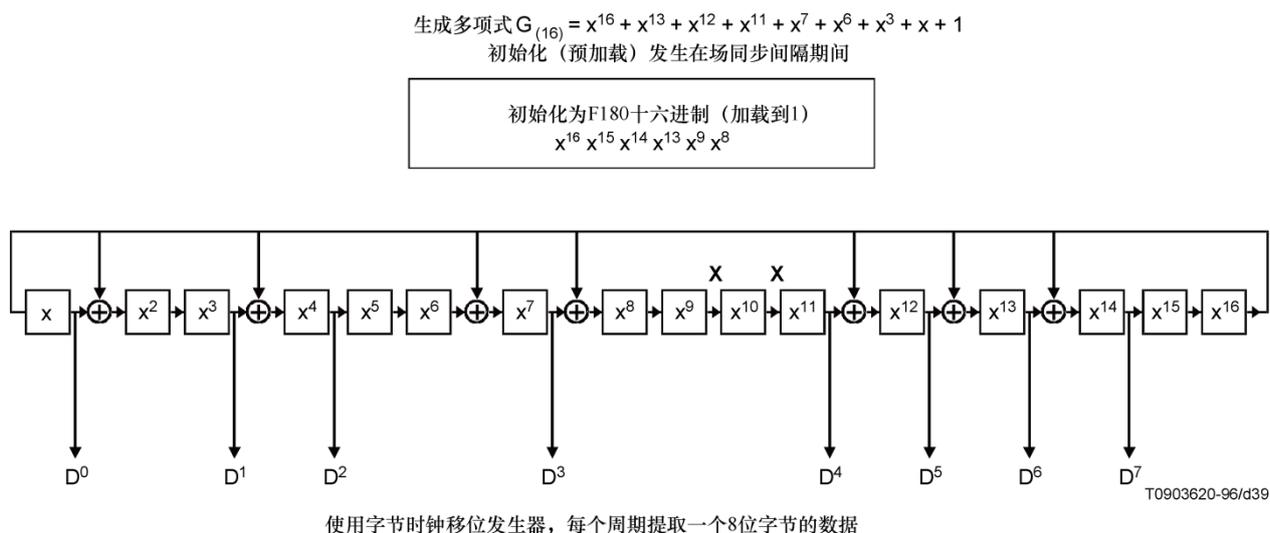
D.5 频道编码

D.5.1 数据随机化发生器

在所有输入数据上使用数据随机化发生器来随机化数据有效载荷（不包括数据字段同步或数据段同步，或RS奇偶校验字节）。数据随机化器XOR-s具有16位最大长度伪随机二进制序列（PRBS）的所有输入数据字节，其在数据字段的开始处被初始化。PRBS在16位移位寄存器中生成，该寄存器具有9个反馈抽头。选择8个移位寄存器输出作为固定随机化字节，其中来自该字节的每个位用于单独对相应的输入数据位进行异或。数据位是异或MSB到MSB... LSB到LSB。

初始化（预加载）到F180十六进制（加载到1）发生在第一个数据段之前的数据段同步间隔期间。

随机化器生成器多项式和初始化如图D.4所示。



图D.4 – 随机化发生器多项式

D.5.2 里德-所罗门编码器

VSB传输子系统中使用的RS代码是 $t = 10$ （207,187）代码。RS数据块大小为187字节，添加了20个RS奇偶校验字节用于纠错。每个数据段发送两个207字节的RS块。

在每个相应的187字节组的末尾发送20个RS奇偶校验字节。奇偶校验生成多项式和原始场生成多项式如图D.5所示。

$$\prod_{i=0}^{i=2t-1} (x + \alpha^i) = x^{20} + x^{19}\alpha^{17} + x^{18}\alpha^{60} + x^{17}\alpha^{79} + x^{16}\alpha^{50} + x^{15}\alpha^{61} + x^{14}\alpha^{163} +$$

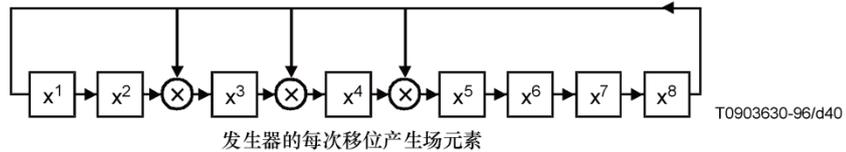
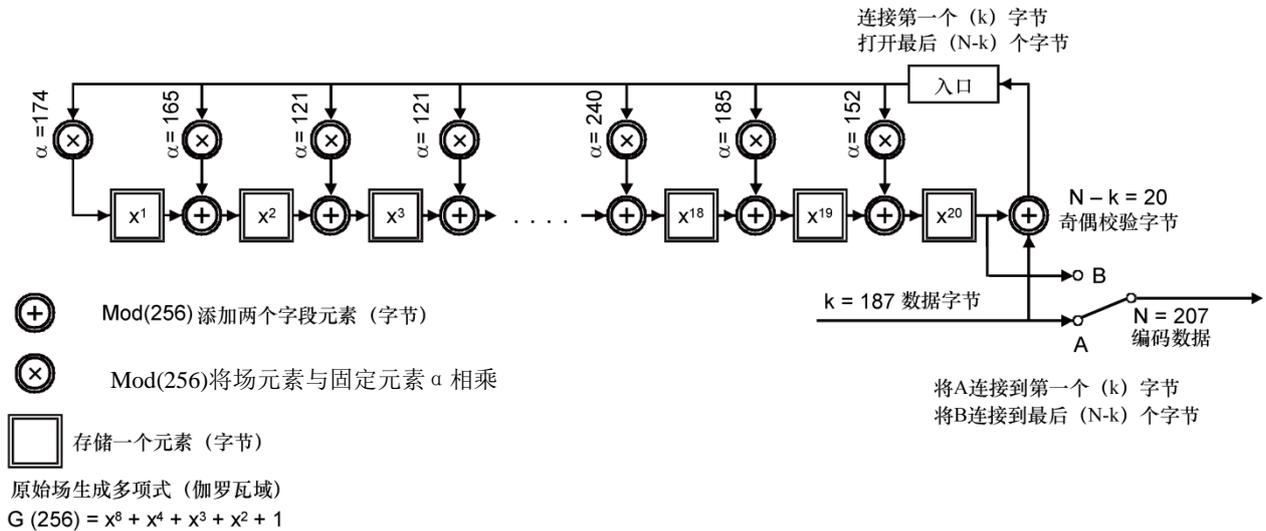
$$x^{13}\alpha^{26} + x^{12}\alpha^{187} + x^{11}\alpha^{202} + x^{10}\alpha^{180} + x^9\alpha^{221} + x^8\alpha^{225} + x^7\alpha^{83} +$$

$$x^6\alpha^{239} + x^5\alpha^{156} + x^4\alpha^{164} + x^3\alpha^{212} + x^2\alpha^{212} + x^1\alpha^{188} + \alpha^{190}$$

$$= x^{20} + 152x^{19} + 185x^{18} + 240x^{17} + 5x^{16} + 111x^{15} + 99x^{14} +$$

$$6x^{13} + 220x^{12} + 112x^{11} + 150x^{10} + 69x^9 + 36x^8 + 187x^7 +$$

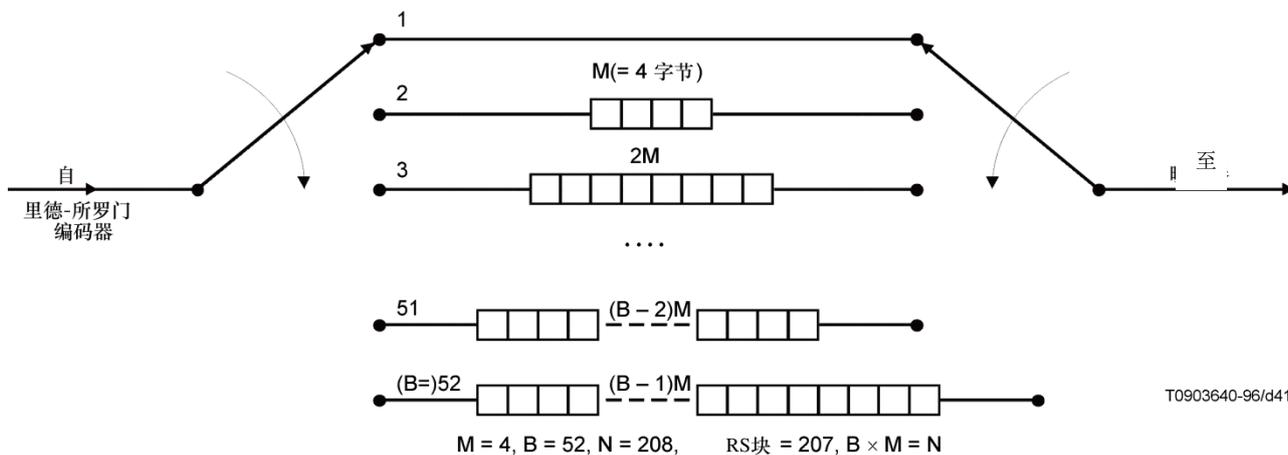
$$22x^6 + 228x^5 + 198x^4 + 121x^3 + 121x^2 + 165x^1 + 174$$



图D.5 – 里德-所罗门 (207,187) 的奇偶生成多项式, 其中 $t = 10$

D.5.3 交织

残留边带 (VSB) 传输系统中采用的交织器是26数据段 (段间) 卷积字节交织器。交织提供到大约1/12数据字段 (2 ms深) 的深度。只有数据字节是交织的。交织器与数据字段的第一个数据字节同步。卷积交织器如图D.6所示。



图D.6 – 卷积交织器

D.5.4 数据段同步

多级数据通过多路复用器传递，该多路复用器插入各种同步信号（数据段同步和数据字段同步）。

在每个数据段的开始处将两级（二进制）4符号数据段同步插入到16级数字数据流中。（MPEG同步字节由数据段同步替换。）随机数据中嵌入的数据段同步如图D.7所示。

完整的段由832个符号组成：4个符号用于数据段同步，828个数据加上奇偶校验符号。数据段同步是二进制（2级）。相同的同步模式以77.3 μs的间隔定期发生，并且是以此速率重复的唯一信号。与数据不同，数据段同步的四个符号不是里德-所罗门编码的，也不是交织的。数据段同步模式是1001模式，如图D.7所示。

D.5.5 数据字段同步

数据不仅分为数据段，还分为数据字段，每个数据字段由313个段组成。每个数据字段（24.2 ms）以一个完整的数据段同步数据字段开始，如图D.8所示。每个符号代表一位数据（2级）。该段中的832个符号定义如下。见图D.8。

D.5.5.1 同步

这对应于数据段同步，并定义为1001。

D.5.5.2 PN511

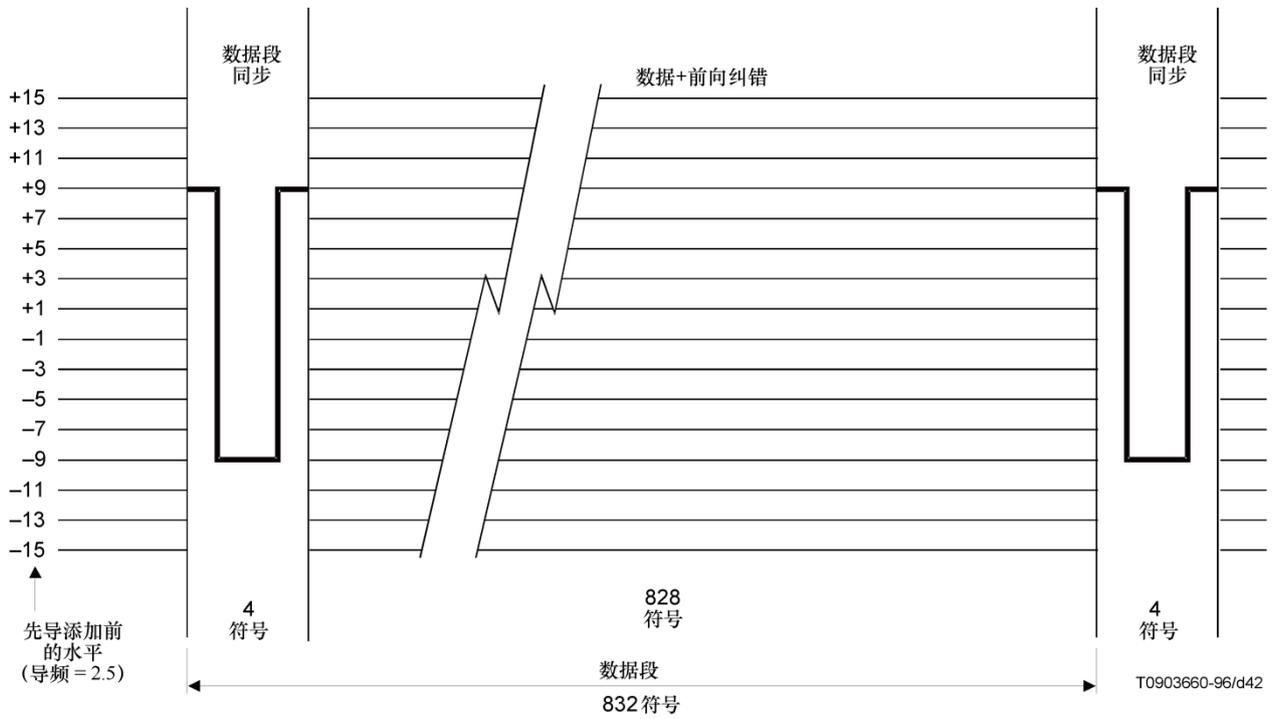
该伪随机序列被定义为 $x^9 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$ ，其预加载值为010000000。

PN511序列的发生器如图D.9所示。

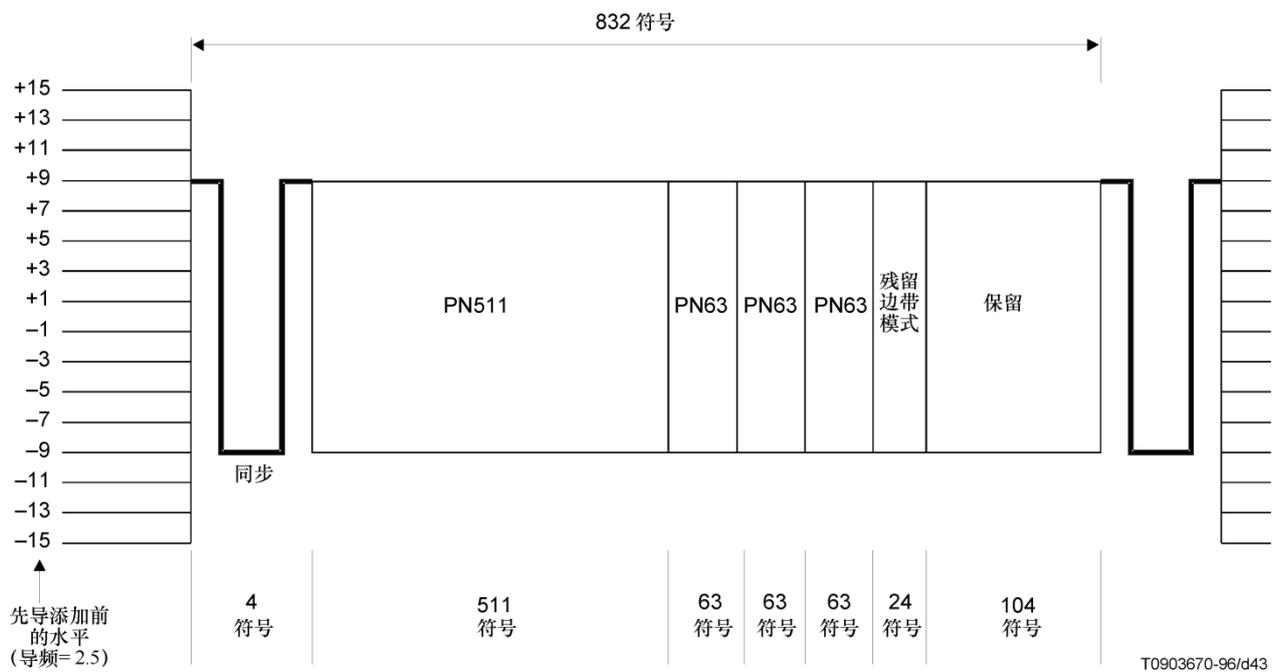
D.5.5.3 PN63

该伪随机序列重复三次。它定义为 $x^6 + x + 1$ ，预加载值为100111。中间PN63在每个其他数据字段同步时反转。

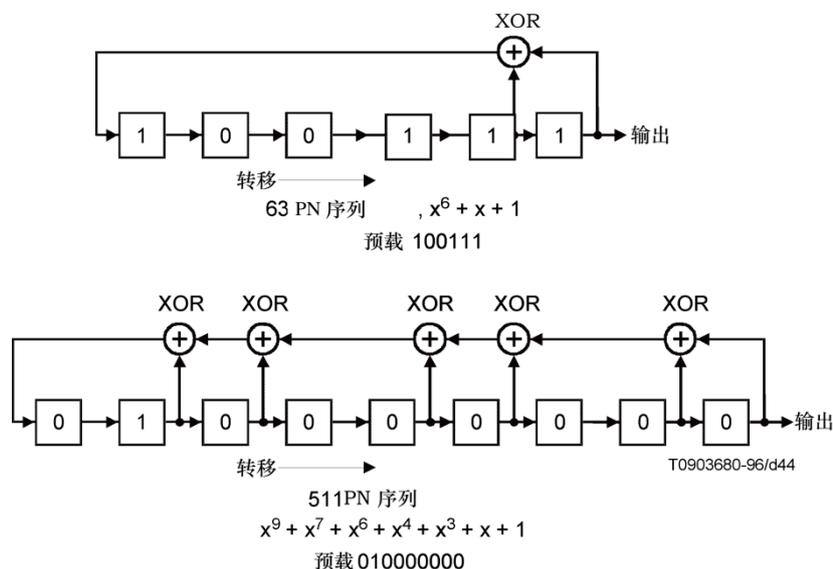
PN63序列的发生器如图D.9所示。



图D.7 – 16-VSB数据段



图D.8 – 16-VSB数据字段同步



图D.9 – 场同步PN序列发生器

D.5.5.4 VSB模式

这24位确定了帧中数据的VSB模式。前两个字节是保留的。建议的填充模式为0000111100001111。下一个字节定义为：

$\overline{P A B C P A B C}$

其中P是偶校验位，字节的MSB和A、B、C是实际模式位。

P A B C

0 0 0 0 2-残留边带

1 0 0 1 4-残留边带

1 0 1 0 8-残留边带

0 0 1 1 保留

1 1 0 0 16-残留边带电缆

0 1 0 1 8-残留边带地面（注）（网格编码）

0 1 1 0 保留

1 1 1 1 保留

注 – 在8-VSB地面模式中，前面的位定义为：

$0000 \overline{P A B C P A B C} 1111$

D.5.5.5 保留

最后104位是保留空间。建议用PN63序列的延续来填充。

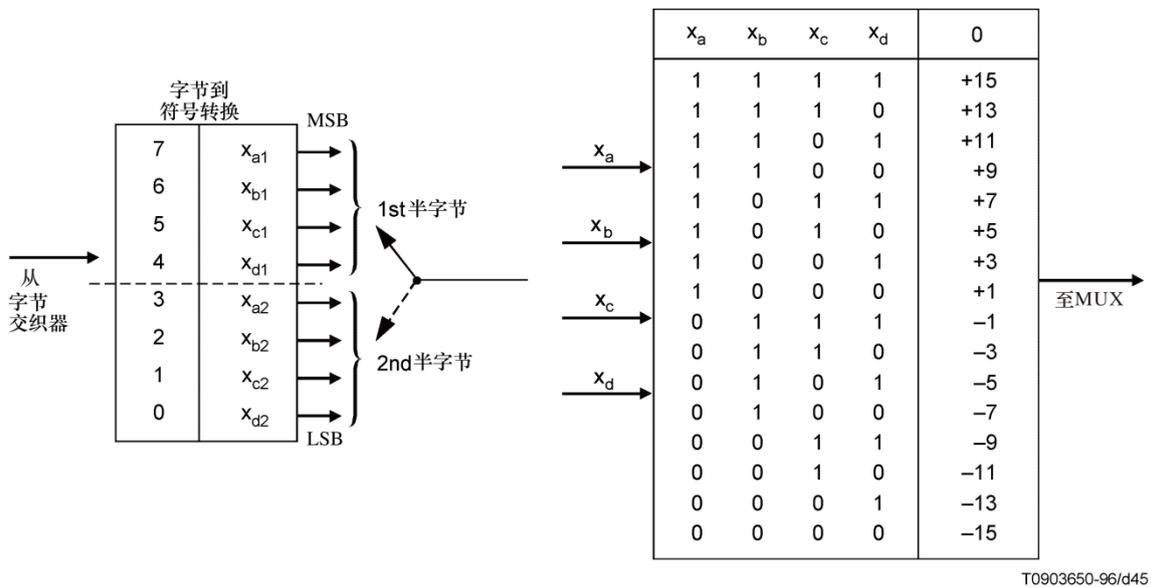
在数据字段同步开始之前预加载所有序列。

与数据段同步一样，数据字段同步不是里德-所罗门编码，也不是交织的。

D.6 调制

D.6.1 位到符号映射

图D.10显示了交织器输出到标称信号电平的映射（ ± 1 、 ± 3 、 ± 5 、 ± 7 、 ± 9 、 ± 11 、 ± 13 、 ± 15 ）。如图D.7和D.8所示，数据段同步和数据字段同步的标称电平为-9和+9。



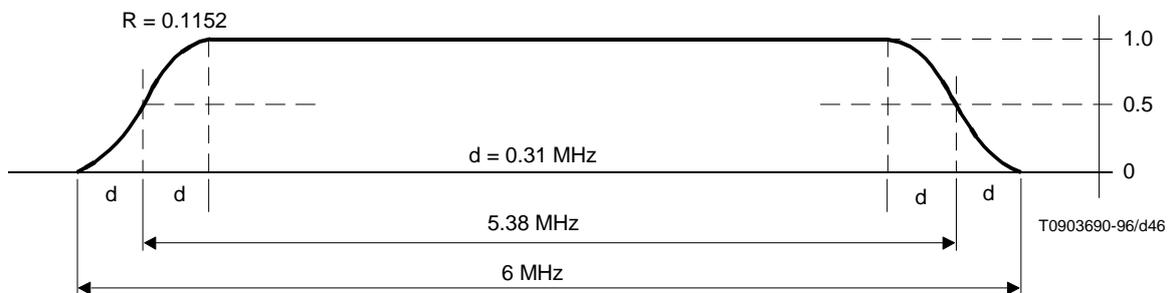
图D.10 – 16-VSB映射器

D.6.2 导频添加

向数据信号添加一个小的同相导频。导频的频率与抑制载波频率相同，如图D.3所示。这可以以下面的方式产生。数字基带数据的每个符号（数据和同步）加上一个小（数字）直流电平（2.5）再加上同步信号（ ± 1 、 ± 3 、 ± 5 、 ± 7 、 ± 9 、 ± 11 、 ± 13 、 ± 15 ）。导频的功率比平均数据信号功率低11.3 dB。

D.6.3 16-VSB调制方法

VSB调制器接收10.76 M symbols/s，16级复合数据信号（添加了导频和同步）。数字多节目系统性能基于级联发射机和接收机中的线性相位升余弦奈奎斯特滤波器响应，如图D.11¹所示。系统滤波器响应在整个频段内基本上是平坦的，除了频段两端的过渡区域。名义上，发射机的滚降具有线性相位平方根升余弦滤波器的响应。带内和带外的容差正在研究中。



图D.11 – 标称VSB系统信道响应
(线性相位升余弦奈奎斯特滤波器)

D.6.4 上变频

调制过程通常在IF频率下完成。然后将调制的IF上变频到有线系统承载的最终频率。

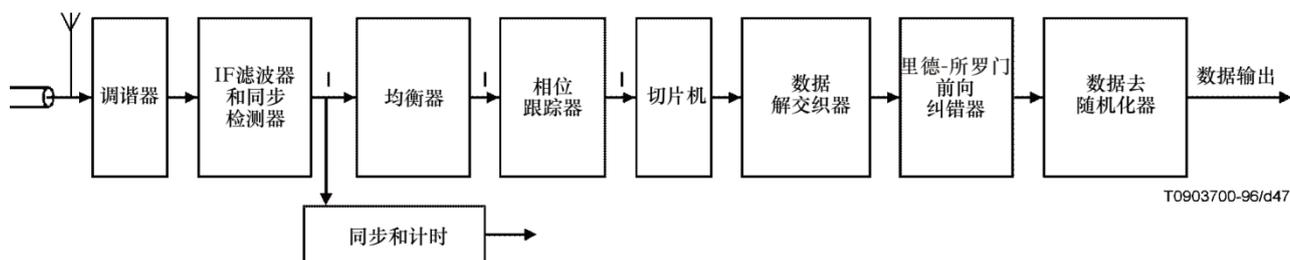
D.7 16-VSB电缆接收机

16-VSB电缆接收机如图D.12所示。发射机的所有反函数都在接收机中执行：下变频（调谐器）、检测、同步和定时恢复、去交织、里德-所罗门前向纠错和数据去随机化。

此外，均衡器利用数据字段同步作为训练参考信号来消除符号间干扰，并且相位跟踪器降低了调谐器的本地振荡器的相位噪声的影响。相位跟踪器之后是切片器，用于从多级符号恢复数据。

从导频恢复解调载波，并从段同步恢复同步和时钟。

接收机可以从电缆配线系统馈送有线模式信号，或者如果接收机是地面广播接收机，也可以从8-VSB网格编码的地面广播，或从私人有线电视源（SMATV或MMDS，或其他）馈送。



图D.12 – 16-VSB接收机

D.8 其他VSB模式

D.8.1 引言

上面的子节D.5.5.4确定了VSB模式2-VSB、4-VSB、8-VSB、16-VSB和8-VSB（网格编码）的VSB数据字段同步间隔中的VSB模式位。到目前为止的整个附件描述了16-VSB模式过程，包括188字节MPEG输入包、数据帧结构、数据随机化发生器、里德-所罗门前向纠错（FEC）、字节交织、映射器、数据段同步、数据字段同步、VSB调制和16-VSB接收机。

D.8.2 VSB模式概述

VSB模式组形成一个具有高度共同过程的系列。该系列的每种模式使用相同的符号率同步、频谱整形和信道带宽。模式之间的差异是由于每个符号的位的变化以及可以容纳的随后的有效载荷数据速率。表D.1显示了这些关系。

表D.1 – VSB模式比较表

| VSB模式 | 传输数据速率 | 噪声爆破容差 | C/N阈值 |
|-----------|--------------|---------------|-------|
| 2-VSB | 9.7 Mbit/s | 387 μ sec | 10 dB |
| 4-VSB | 19.39 Mbit/s | 193 μ sec | 16 dB |
| 8-VSB | 29.09 Mbit/s | 129 μ sec | 22 dB |
| 16-VSB | 38.79 Mbit/s | 97 μ sec | 28 dB |
| 8-VSB（网格） | 19.39 Mbit/s | 193 μ sec | 15 dB |

在以下子节中处理每种VSB模式。

D.8.3 MPEG-2传输层

如上面的D.3节所述，传输层提供188字节的数据包。

D.8.4 成帧结构

图D.2显示了所有VSB模式共有的数据符号、数据段和数据字段组织。表D.2显示了里德-所罗门前向纠错保护的MPEG-2数据包与数据段和VSB模式之间的关系。

表D.2 – 数据帧的比较表 – MPEG数据包-VSB模式

| VSB模式 | 位/符号 | 位/段 | FEC保护的MPEG数据包/段 |
|-------|------|------|-----------------|
| 2 | 1 | 828 | 1/2 |
| 4 | 2 | 1656 | 1 |
| 8 | 3 | 2484 | 1 1/2 |
| 16 | 4 | 3312 | 2 |
| 8T | 2 | 1656 | 1 |

D.8.5 信道编码

D.8.5.1 数据随机化发生器

对于2-VSB、4-VSB、8-VSB和8-VSB（网格）的数据随机化按照第D.5.1节完成。

D.8.5.2 里德-所罗门编码器

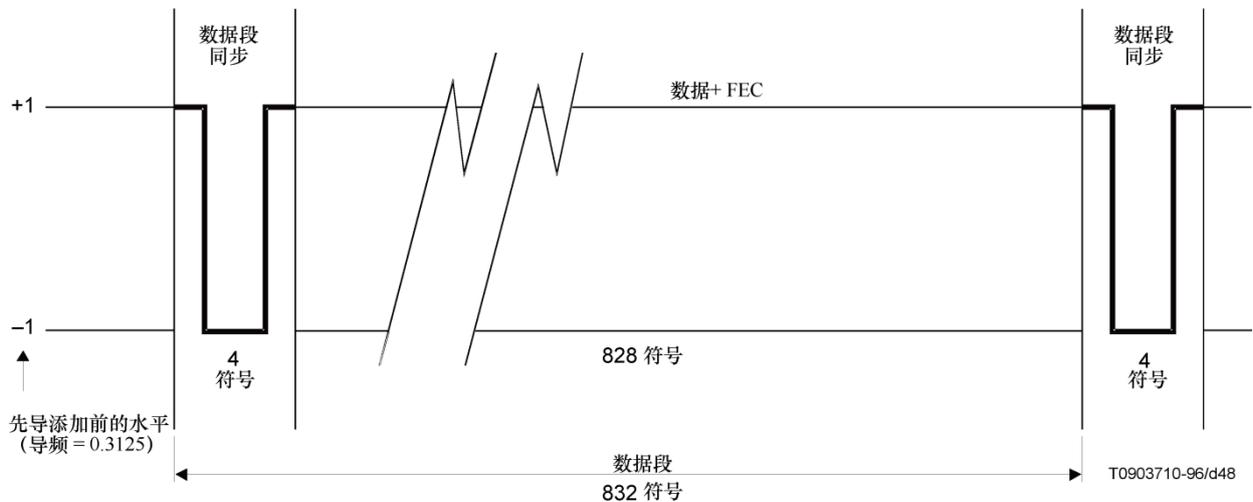
对于2-VSB、4-VSB、8-VSB和8-VSB（网格编码）的RS FEC过程如第D.5.2节中所述。

D.8.5.3 交织

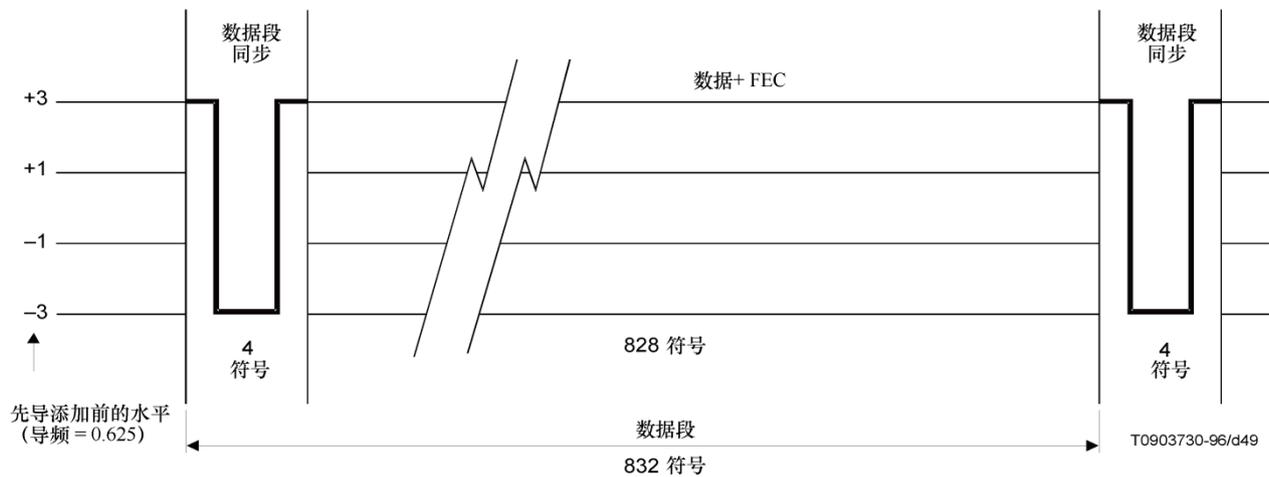
2-VSB、4-VSB、8-VSB和8-VSB（网格编码）的交织如第D.5.3节所述。由于各种VSB模式的比特率不同，因此噪声突发的表现会有所不同，如表D.1所示。

D.8.5.4 数据段同步

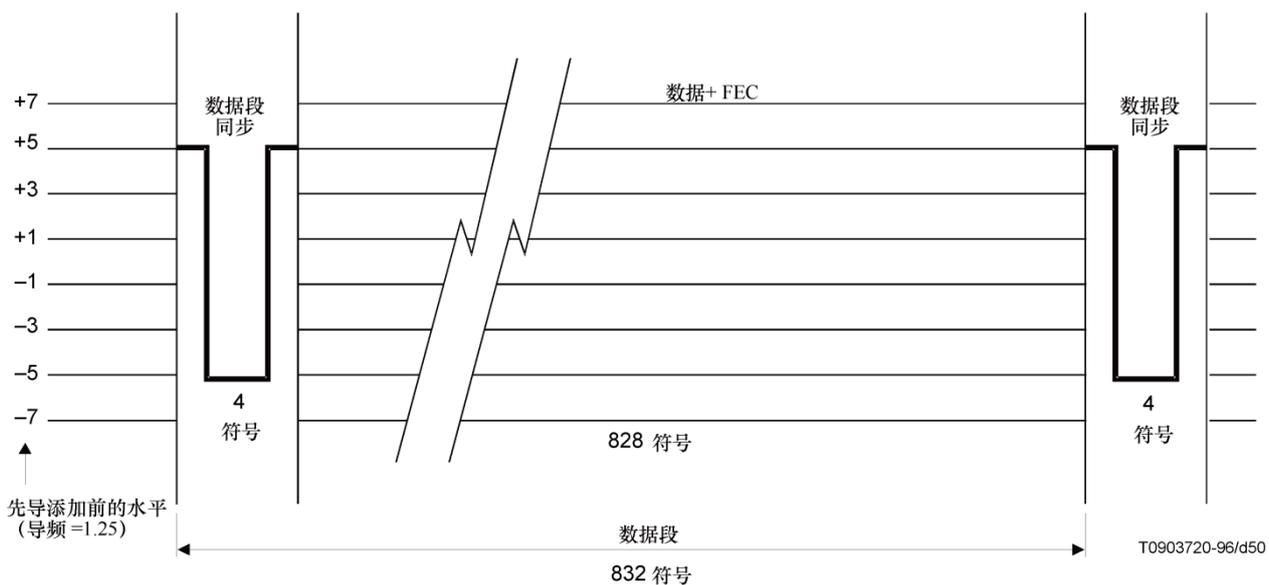
数据段同步对于所有VSB模式是通用的。数据段同步的细节在第D.5.4节中描述。然而，在多级符号数据中嵌入同步是变化的。这分别在图D.13、D.14、D.15和D.16中针对2-VSB、4-VSB、8-VSB和8-VSB（网格编码）示出。



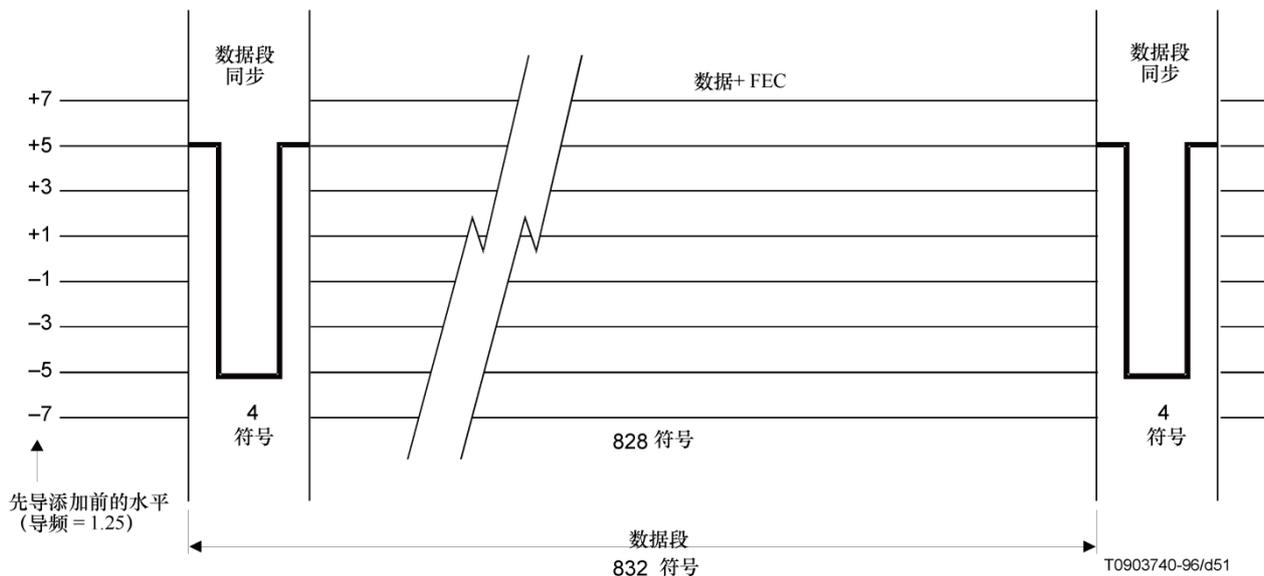
图D.13 – 2-VSB数据段



图D.14 – 4-VSB数据段



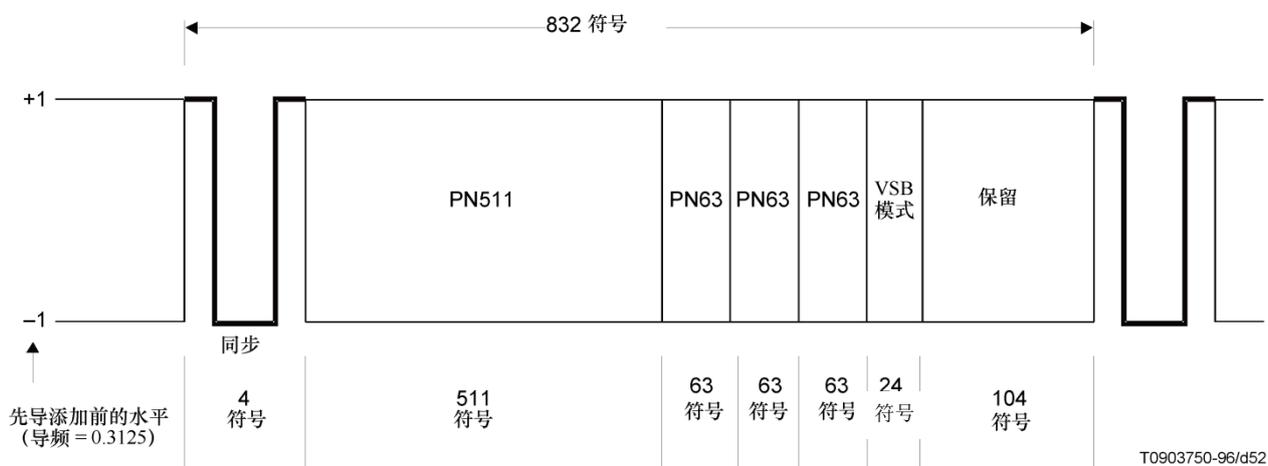
图D.15 – 8-VSB数据段



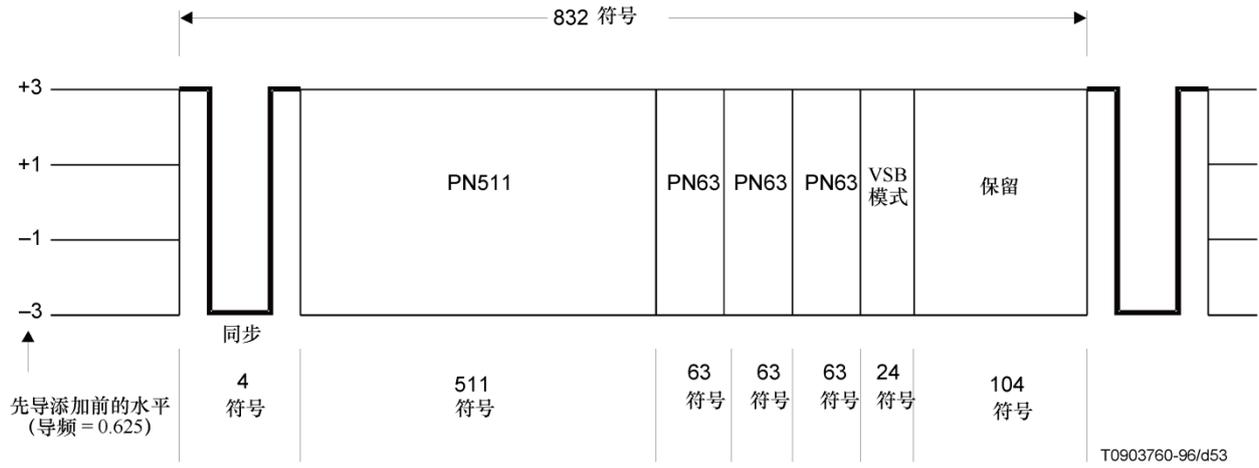
图D.16 – 8-VSB数据段（网格编码）

D.8.5.5 数据字段同步

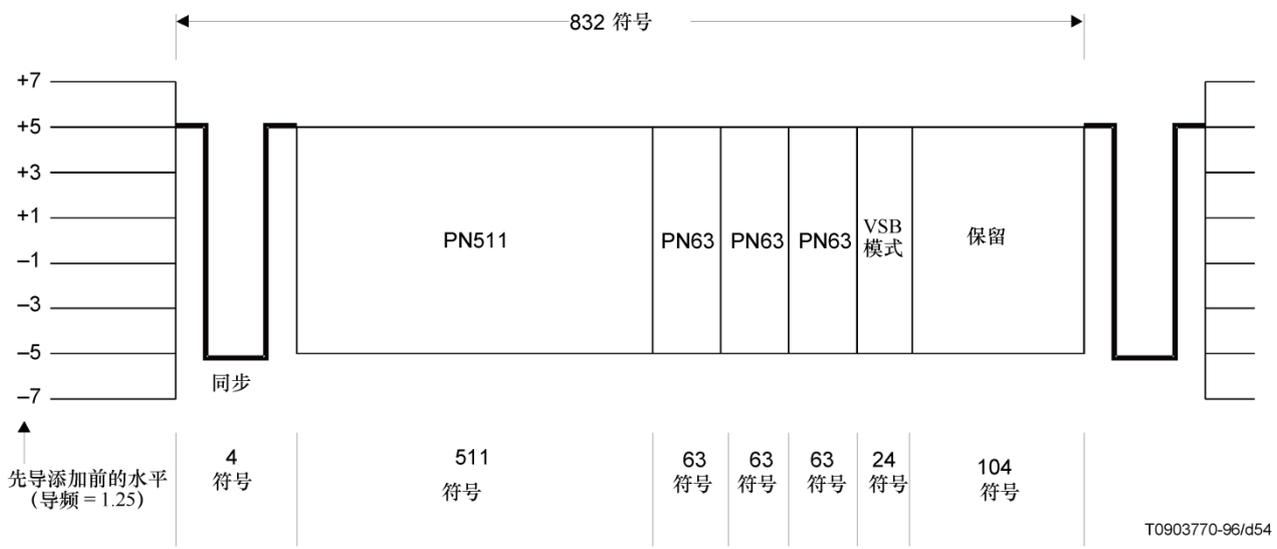
数据字段同步对于所有VSB模式是通用的。数据字段同步的细节在第D.5.5节中描述。但是，在段同步的情况下，数据字段的同步嵌入在多级符号数据中是不一样的。这分别在图D.17、D.18、D.19和D.20中示出了2-VSB、4-VSB、8-VSB和8-VSB（网格编码）。



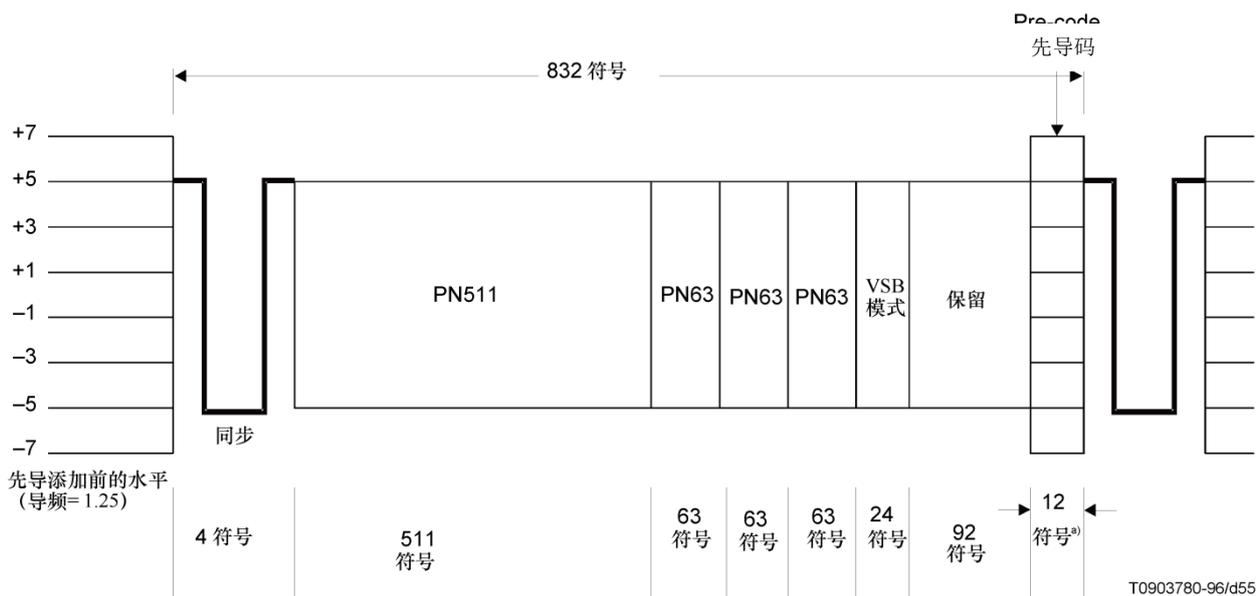
图D.17 – 2-VSB数据字段同步



图D.18 – 4-VSB数据字段同步



图D.19 – 8-VSB数据字段同步



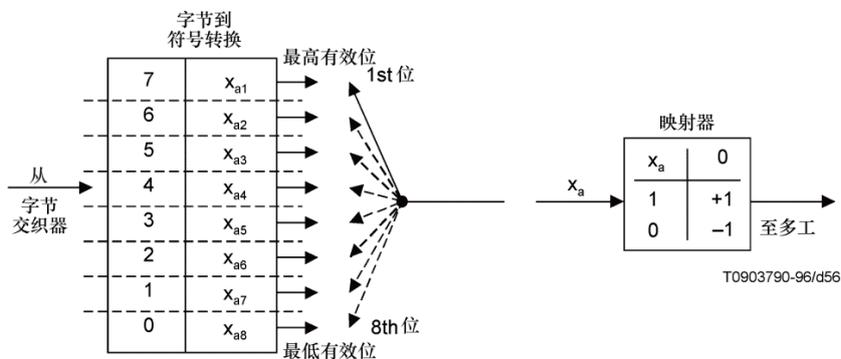
a) 对于网格代码8-VSB，前一个分段的最后一个符号在字段同步的最后12个保留符号中重复。

图D.20 – 8-VSB（网络编码）数据字段同步

D.8.6 调制

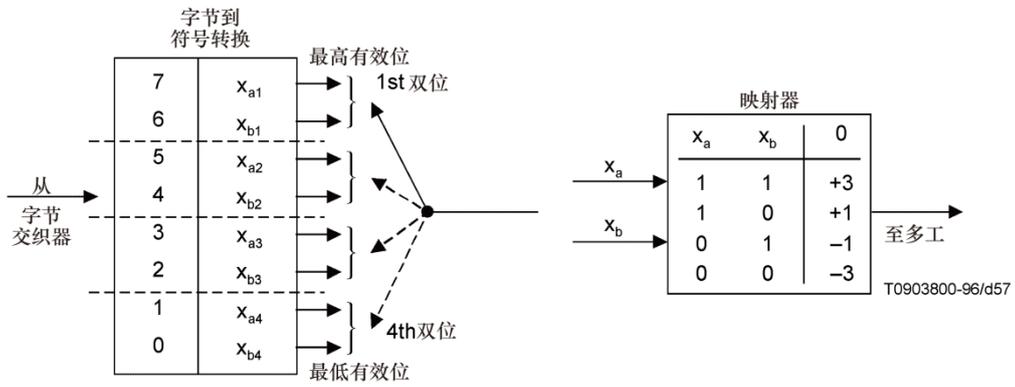
D.8.6.1 位到符号的映射

2-VSB、4-VSB、8-VSB和8-VSB（网络编码）的位到符号映射分别在图D.21、D.22、D.23和D.24中示出。对于2-VSB，数据符号级别为 ± 1 ，对于4-VSB，数据符号级别为 $\pm 1, \pm 3$ ，对于8-VSB和8-VSB（网络编码），数据符号级别为 $\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7^2$ 。

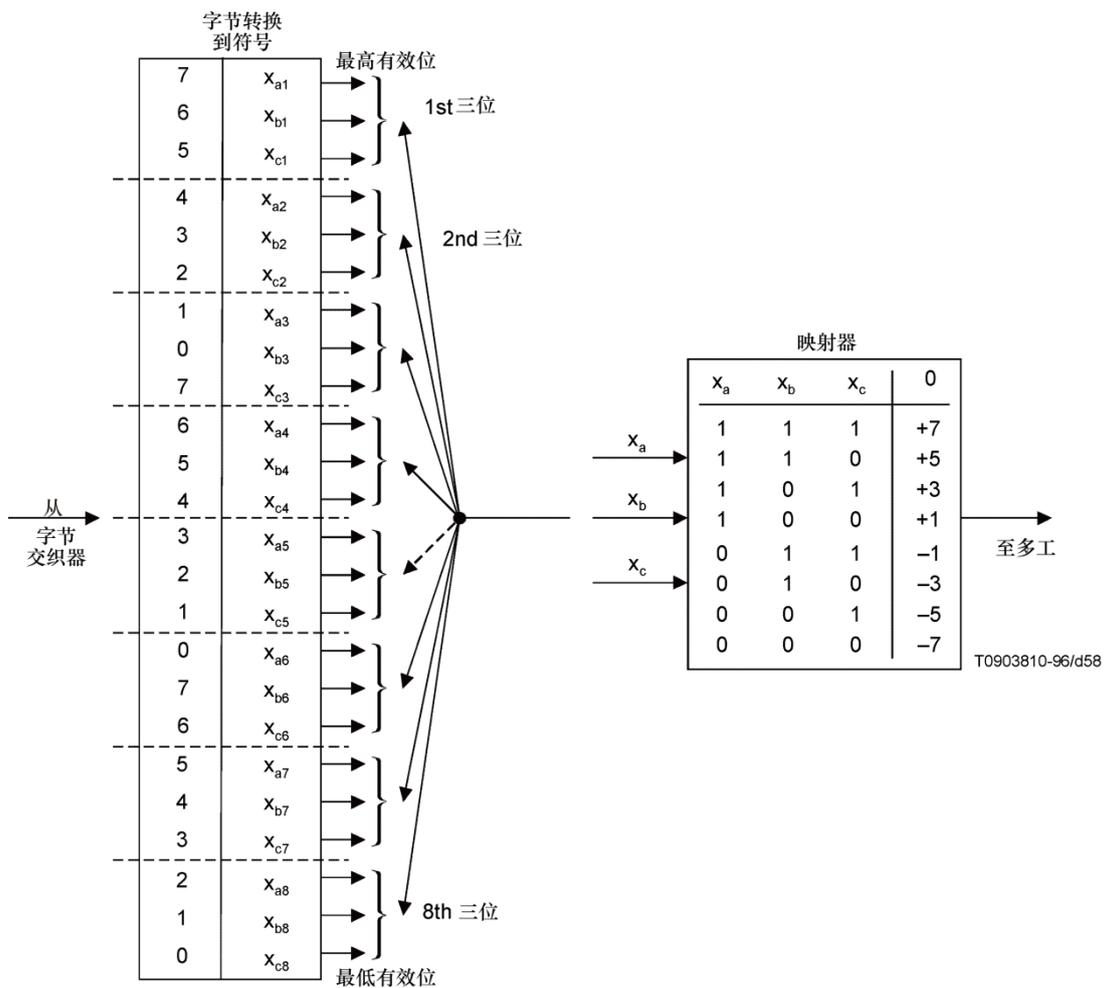


图D.21 – 2-VSB映射器

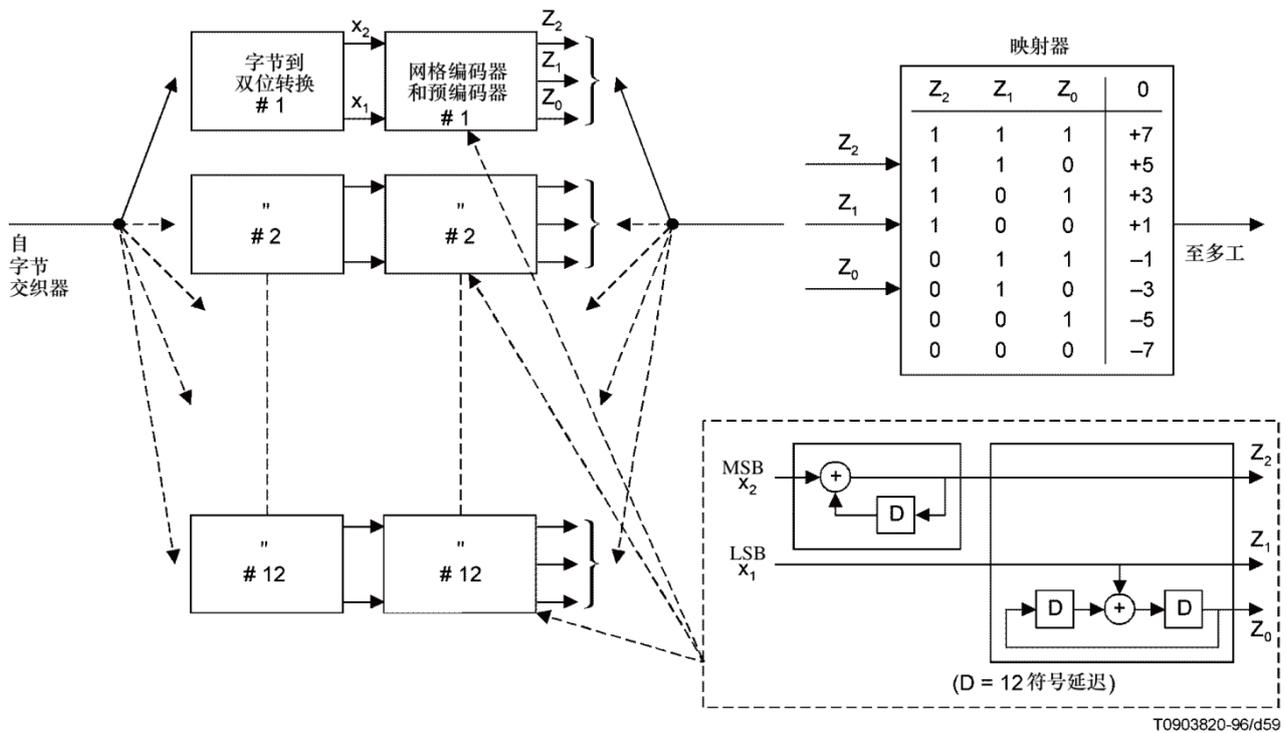
² 8-VSB（网络编码）模式述于 [b-1]。



图D.22 – 4-VSB映射器



图D.23 – 8-VSB映射器



图D.24 – 8-VSB（预编码器、网格编码器）映射器速率= 2/3

D.8.6.2 导频添加

通过向基带符号（数据和同步）添加小的DC电平，可以以与第D.6.2节中相同的方式完成导频的添加。对于2-VSB，DC电平的值为0.3125，对于4-VSB为0.625，对于8-VSB和8-VSB（网格编码）为1.25。

对于2-VSB、4-VSB、8-VSB和8-VSB（网格编码），这分别在图D.13、D.14、D.15和D.16中示出。

D.8.6.3 VSB调制方法

所有VSB系统的调制方法都以与第D.6.3节中相同的方式完成。整个信道频率响应的形状如图D.11所示。

D.8.6.4 上变频

调制方法通常在IF频率下完成。然后将调制的IF上变频到RF传输系统的最终信道频率。

D.8.7 VSB接收机

VSB接收机具有发射机的所有反向功能。VSB传输模式以第D.5.5.4节中描述的方式指示给接收机。然后调整接收机功能以适应各种所需的数据切片级别和不同的输入比特速率³。

³ 8-VSB（网格编码）接收过程在参考文献的[b-2]中详细描述。

参考资料

- [b-1] Advanced Television Systems Committee (ATSC): *Digital television standard*, Washington D.C., September 1995.
- [b-2] Advanced Television Systems Committee (ATSC): *Guide to the use of the ATSC digital standard*, Washington D.C., October 1995.

ITU-T 系列建议书

| | |
|-------------|---|
| A 系列 | ITU-T 工作的组织 |
| D 系列 | 一般资费原则 |
| E 系列 | 综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素 |
| F 系列 | 非话电信业务 |
| G 系列 | 传输系统和媒质、数字系统和网络 |
| H 系列 | 视听及多媒体系统 |
| I 系列 | 综合业务数字网 |
| J 系列 | 有线网络和电视、声音节目及其它多媒体信号的传输 |
| K 系列 | 干扰的防护 |
| L 系列 | 环境与 ICT、气候变化、电子废物、节能；线缆和外部设备的其他组件的建设、安装和保护。 |
| M 系列 | 电信管理，包括 TMN 和网络维护 |
| N 系列 | 维护：国际声音节目和电视传输电路 |
| O 系列 | 测量设备的技术规范 |
| P 系列 | 电话传输质量、电话设施及本地线路网络 |
| Q 系列 | 交换和信令 |
| R 系列 | 电报传输 |
| S 系列 | 电报业务终端设备 |
| T 系列 | 远程信息处理业务的终端设备 |
| U 系列 | 电报交换 |
| V 系列 | 电话网上的数据通信 |
| X 系列 | 数据网、开放系统通信和安全性 |
| Y 系列 | 全球信息基础设施、互联网协议问题、下一代网络、物联网和智慧城市 |
| Z 系列 | 用于电信系统的语言和一般软件问题 |