



北京邮电大学

电信工程学院多媒体通信中心



从信源到信道

—— 视频和 MPEGx、信道和 DVB-S2

boyang@bupt.edu.cn
Beijing



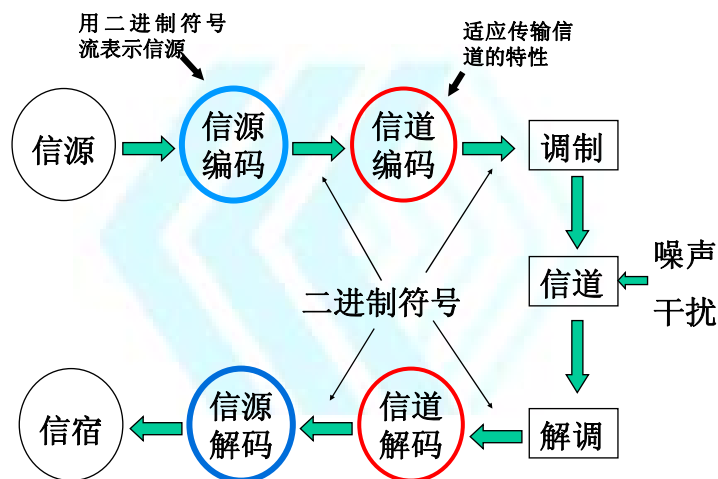
报告提纲

从信源到信道

—— 视频和 MPEGx、信道和 DVB-S2



前言：数字传输系统模型



前言：数字传输系统

- 信源的原始信号绝大多数是模拟信号，因此，信源编码的第一个任务是模拟和数字的变换，即：A/D、D/A。
 - ✧ 取样频率取决于原始信号的带宽：

$$f_c = 2 \times w$$
 w 为信号带宽
 - ✧ 取样点的比特数决定编解码后的信号质量：

$$SNR = 6 \times L(\text{dB})$$
 L 为量化位数
- 但是，由于传输信道带宽的限制，又由于原始信源的信号具有很强的相关性，则信源编码不是简单的A/D、D/A，而是要进行压缩。为通信传输而进行的信源编码，主要是压缩编码。
- 信源编码要考虑的因素：
 - ✧ 一信源的统计特性。
 - ✧ 一传输信道引入的损伤，如误码。
 - ✧ 一信宿的质量要求。

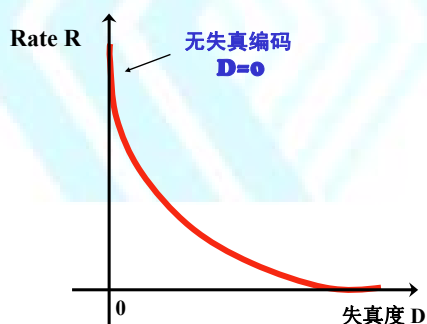
前言：信源编码定理

■ 信源编码定理：

对于给定的失真率 D ，总可以找到一种信源编码方法，只要信源速率 R 大于 $R(D)$ ，就可以在平均失真任意接近 D 的条件下实现波形重建。

说明1： $R(D)$ 称为率失真函数，它是单调非增函数，速率越高，平均失真越小。

说明2： 为了保证在一定速率下的失真，必需采用信源编码，因而会引入编码延时。



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

5

前言：信道编码定理

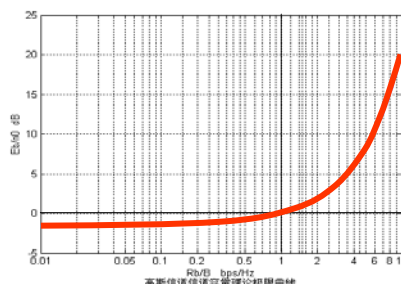
■ 信道编码定理：

如果信源速率 R 小于信道容量 C ，总可以找到一种信道编码方法，使得信源信息可以在有噪声信道上进行无差错传输，即： $R < C$ ，无差错传输条件。

说明1： 信道容量 C 是根据仙依定理得到：

$$C = B \log_2(1+S/N)$$

说明2： 为了保证无差错传输，必需采用信道编码，因而会引入编码延时。



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

6

前言：信息传输定理

■ 信息传输定理：

将信源编码定理和信道编码定理综合，就得到信息传输定理。即：**为保证无差错传输及失真度，必需满足： $C \geq R(D)$ 。**

- ✎ 说明1：在一般数字通信系统中，信源编码和信道编码可以分开考虑。**信道编码定理给出无差错的速率上限，信源编码定理给出无失真的速率下限。**
- ✎ 说明2：为了实现理想性能，都要付出延时的代价。

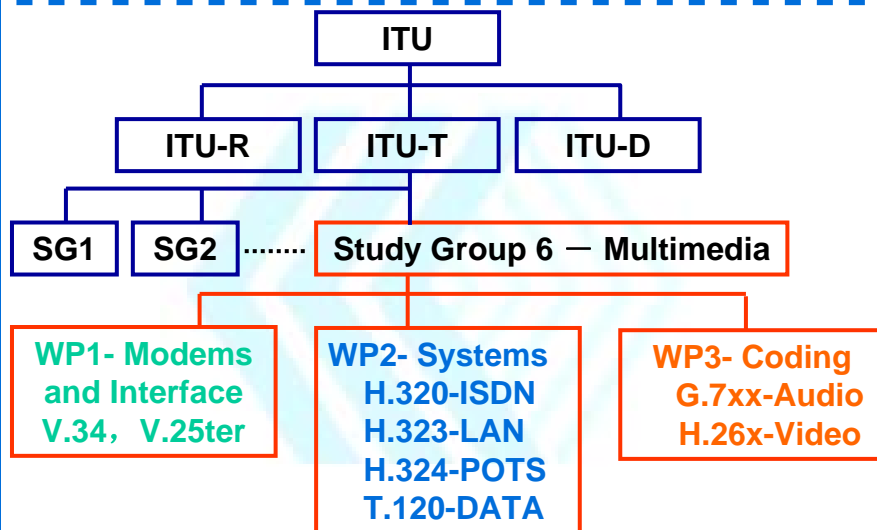
报告提纲

从信源到信道

—— 视频和MPEGx、信道和DMB-T、DVB-S2

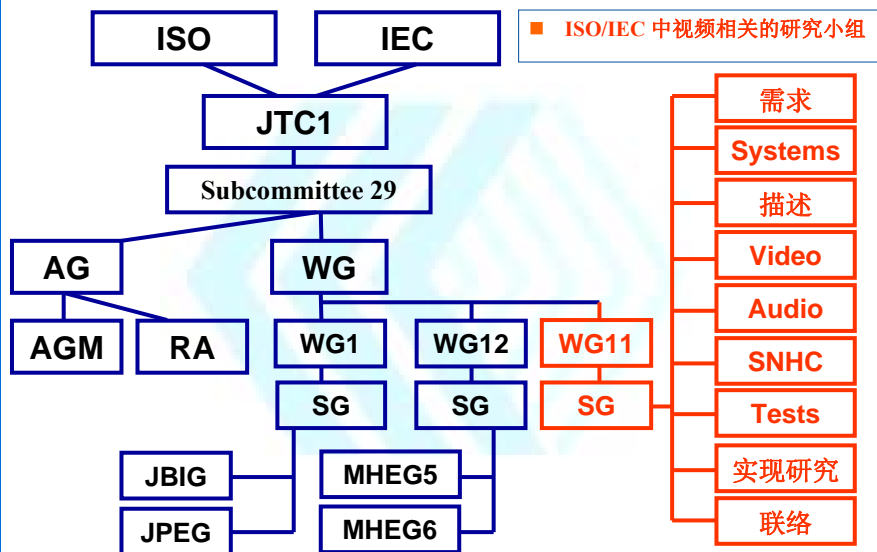


视频编码标准：视频编码标准组织



■ ITU 中视频相关的研究小组

视频编码标准：视频编码标准组织



■ ISO/IEC 中视频相关的研究小组

视频编码标准：视频编码标准组织

■ 国际标准组织

- ✧ ITU (VCEG) 更悠久、更专注于传统的视频编码目标（例如，更好的压缩和包丢失/误码恢复）
- ✧ ISO/IEC (MPEG) 更大、更具有雄心勃勃的目标（例如，“面向对象视频编码”、“自然分析合成混合编码”和数字电影）
- ✧ 两者有时合作制定标准（例如，ISO、IEC and ITU 协作制定了 MPEG-2/H.261 和 MPEG AVC/H.264）

■ 活跃的产业联盟和协会

- ✧ DVD、3GPP、3GPP2、SMPTE、IETF, etc.
- ✧ 中国的 AVS

■ 游离于正式标准之外的厂商，事实上的工业标准：

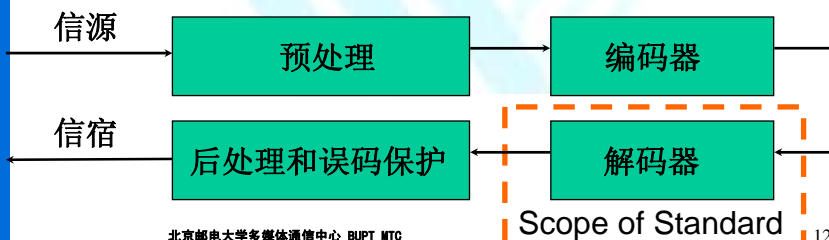
- ✧ Microsoft
- ✧ Real Networks
- ✧ Quicktime

视频编码标准：视频编码标准取得成功的要素

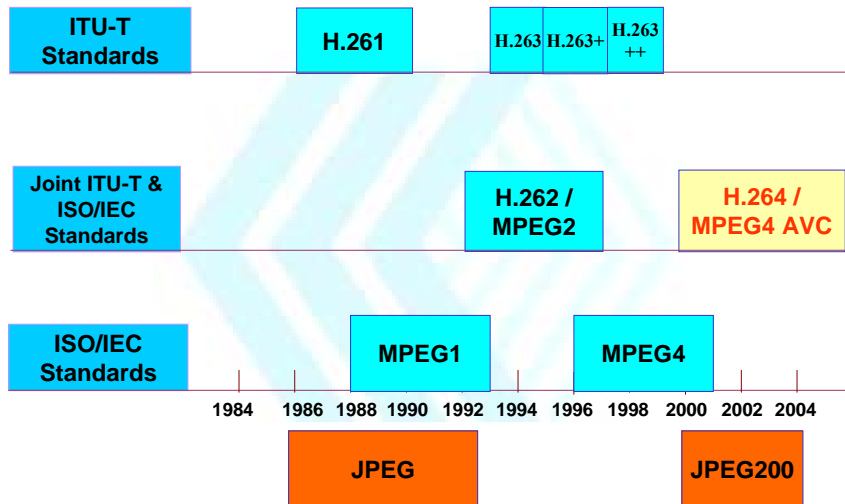
- **互用性 (Interoperability)**: 应确保不同厂商的编解码器能无缝地在一起工作。
- **创新 (Innovation)**: 应比先前的标准更好。
- **竞争 (Competition)**: 应为厂商基于技术优点上的竞争提供足够的灵活性，只标准化比特码流语法语义和参考解码器。
- **独立 (Independence)**: 不依赖于传输和存储媒体，应为广泛应用提供足够的灵活性。
- **兼容 (Compatibility)**:
 - ✧ 前向 (Forward) 兼容: 应能解码先前标准生成的比特码流。
 - ✧ 后向 (Backward) 兼容: 前代解码器应能部分解码新的比特码流

■ 只制定码流的语法、语义和解码的标准：

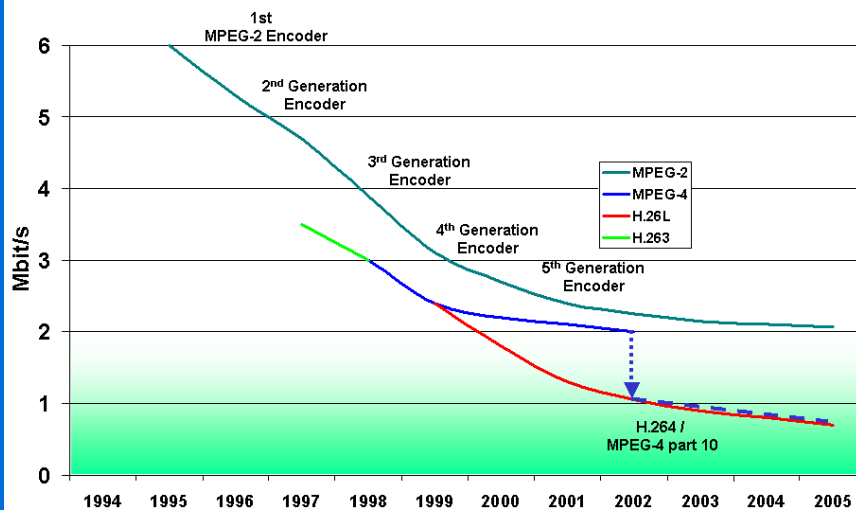
- ✧ 允许对编码算法进行优化
- ✧ 允许减少实现的复杂度
- ✧ 不提供质量保证- 只保证互用性



视频编码标准：历史



视频编码标准：历史



数字分量视频

■ ITU-R BT.601/656 标准

- ✧ 80 年代初由 CCIR 制定的演播室数字电视分量编码标准。该标准规定：

- ✧ RGB 和 YC_bC_r 两个彩色空间之间的转换关系

- ✧ YC_bC_r 彩色空间

- ✧ Color subsampling 4:2:2

- ✧ 彩色图象转换成数字图象时使用的采样频率等

- ✧ 取样频率: 13.5 MHz

- ✧ NTSC/PAL 行频的公共倍数 (6×2.25 MHz)

- ✧ 10bit standard (8bit mode)

- ✧ 在行场逆程中传送辅助数据

- ✧ 接口: BT656

- ✧ Parallel (SMPTE 125M)

- ✧ Serial (SDI, SMPTE 259M, 75 Ω coax, 270 MHz)

ITU-R 601标准—彩色空间转换

■ YUV 和 RGB 的关系公式（幅度压缩）

$$\text{✧ } E_Y = 0.299E_R + 0.587E_G + 0.114E_B$$

数据范围 (1.000~0.000)

$$\text{✧ } (E_R - E_Y) = 0.701E_R - 0.587E_G - 0.114E_B$$

数据范围 (+0.701~ -0.701) 压缩系数 $K_R = 0.713$ (+0.5~-0.5)

$$\text{✧ } (E_B - E_Y) = -0.299E_R - 0.587E_G + 0.886E_B$$

数据范围 (+0.886~ -0.886) 压缩系数 $K_R = 0.564$ (+0.5~-0.5)

■ 矩阵表示

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_R \\ C_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.500 & -0.4187 & -0.0813 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.500 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

ITU-R 601标准—彩色空间转换

- 按 CCIR 601 规定，每个彩色分量的样值用 8bit 量化，可以有 256 个量化层次，即 0~255。但 CCIR 601 没有把全部 256 量化层次都用于数字图象数据。

- 亮度信号共 220 个量化级，黑电平对应于第 16 级，峰值白电平对应于第 235 级。即数字亮度信号 $Y = 219 \times (E_Y) + 16$ ，量化后四舍五入取整数。
- 同理，色差信号共 224 个量化级，色差 0 电平对应于 128。所以，数字 C_R 、 C_B 为：

$$C_R = 224[0.713(E_R - E_Y)] + 128 = 160(E_R - E_Y) + 128$$

$$C_B = 126(E_B - E_Y) + 128$$

- 在数字域中，RGB 和 YC_bC_r 两个彩色空间的关系

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$C_r = (0.500R - 0.4187G - 0.0813B) + 128$$

$$C_b = (-0.1687R - 0.3313G + 0.500B) + 128$$

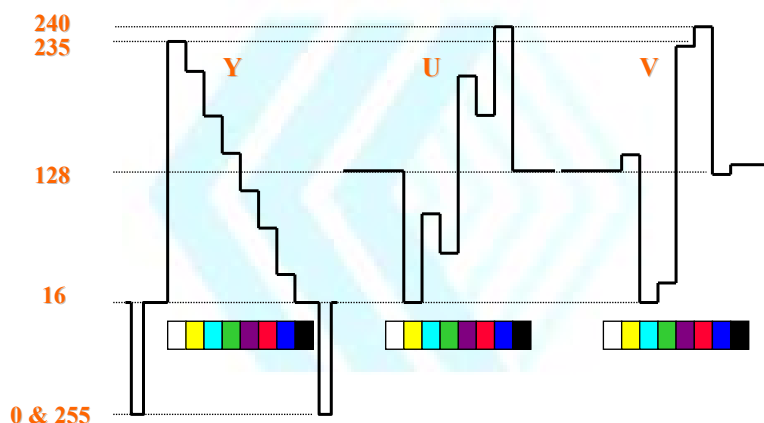
$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.402 & 0 \\ 1 & -0.7141 & -0.3441 \\ 1 & 0 & 1.772 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ C_R - 128 \\ C_B - 128 \end{bmatrix}$$

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

17

视频信号电平与量化级的对应关系

- ITU-R 601标准视频信号电平与量化级的对应关系



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

18

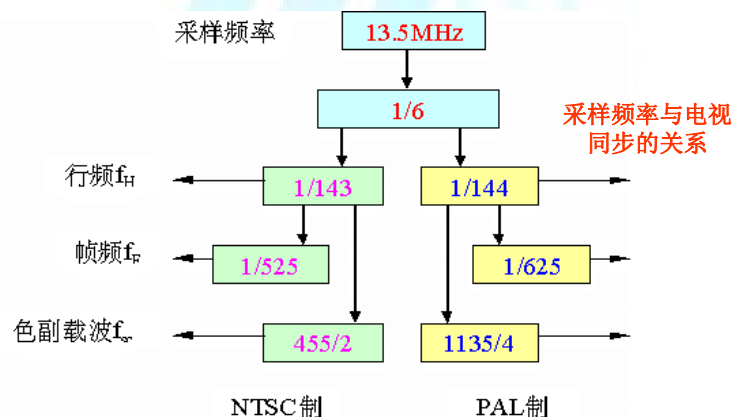
ITU-R 601 标准—取样频率

- CCIR 为 NTSC 制、PAL 制和 SECAM 制规定了共同的图象采样频率

▣ PAL 制、SECAM 制: $f_s = 625 \times 25 \times N = 15625 \times N = 13.5 \text{ MHz}$, $N=864$.

▣ NTSC 制: $f_s = 525 \times 29.97 \times N = 15734 \times N = 13.5 \text{ MHz}$, $N=858$.

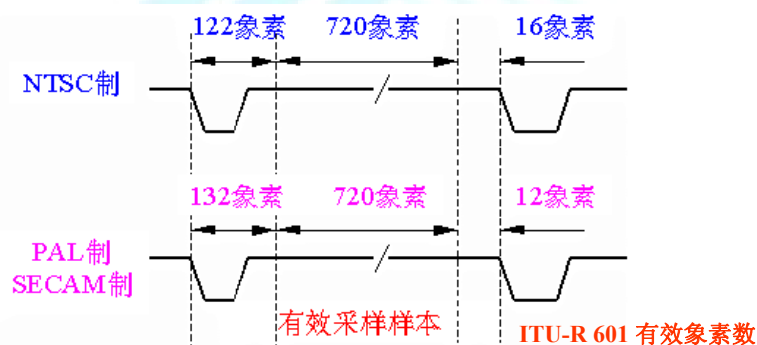
其中, N 为每一扫描行上的采样数目



19

ITU-R 601标准—有效像素数

- 对PAL、SECAM 制的亮度信号, 每扫描行采样 864 个样本; 对NTSC 制的亮度信号, 每扫描行采样 858 个样本。
- 对所有的制式, 每一扫描行的亮度有效样本数均为 720, 色差信号的样点数均为 360。这样便于国际节目交换。
- 每一扫描行的数字样点数结构:



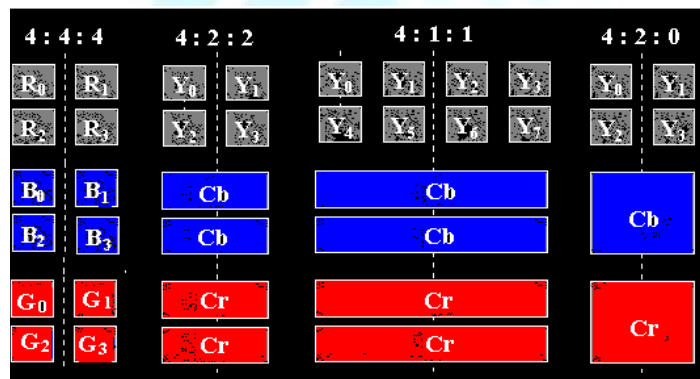
ITU-R 601标准一摘要

采样格式	信号形式	采样频率	样本数/扫描行		数字信号取值
		(MHz)	NTSC	PAL	(A/D)
	Y	13.5	858 (720)	864 (720)	220 级 (16-235)
4:2:2	Cr	6.75	429 (360)	432 (360)	225 级 (16-240)
	Cb	6.75	429 (360)	432 (360)	128 (112)
	Y	13.5	858 (720)	864 (720)	220 级 (16-235)
4:4:4	Cr	13.5	858 (720)	864 (720)	225 级 (16-240)
	Cb	13.5	858 (720)	864 (720)	128 (112)

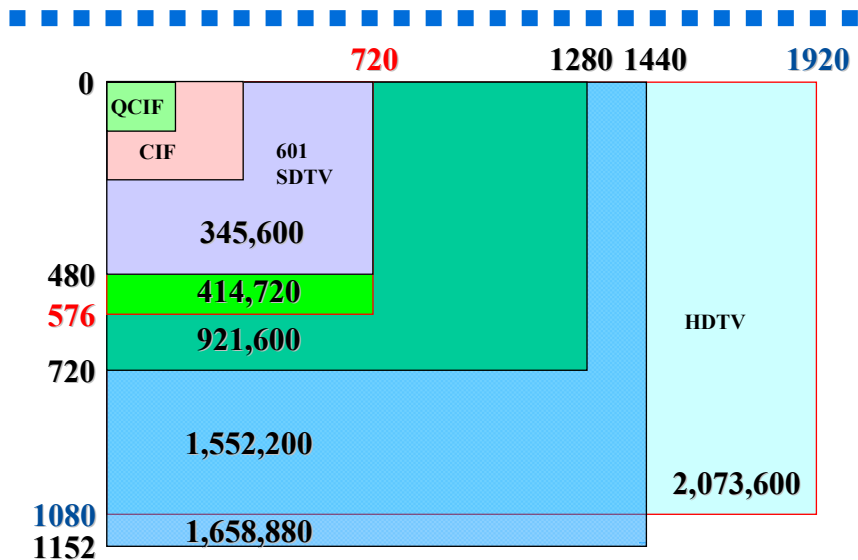
注意：各个视频制式垂直方向行数不一样

YUV 子取样格式

- 在彩色图象压缩技术中，最简便的图象压缩技术是子取样，而它的依据也是最直观的。
- 利用人眼的两条视觉特性，对色度信息进行子取样。
 - 人眼对色度信号的敏感程度比对亮度信号的低
 - 人眼对图象细节的分辨能力有一定的限度



视频格式



并行 BT-656

- 第一个得到使用的连接格式 Rec 656。
- 数据和时钟使用 110 Ohm 双绞线
- ECL 电平信号 @ 27 MHz
- 数据宽度: 10 bits NRZ 数据 + 1 clock 时钟对。
- 在设备中使用标准 DB-25 Female (阴)
- 所有的电缆都使用 DB-25 Male to Male pin for pin
- 所有的电缆都有屏蔽, 以防止 EMI。
- 最大长度 50m (没有 DA), 200m (有均衡 EQ)

SDI - 串行 BT-656

- 异步串行数据接口 - 656 的现行版本。
- 使用标准 75 Ohm 视频同轴电缆
- 也定义了 1300 nm 光纤接口
- 10bit 数据的 270 Mb/s 串行数据码流
- X^9+X^4+1 置乱用于数据保护
- 接口码型和电平 NRZI 800 mV pk-pk
- 电缆采用 BNC
- 4 声道声音编码为附加数据，放在消隐期间。

SPI— DVB 同步并行接口

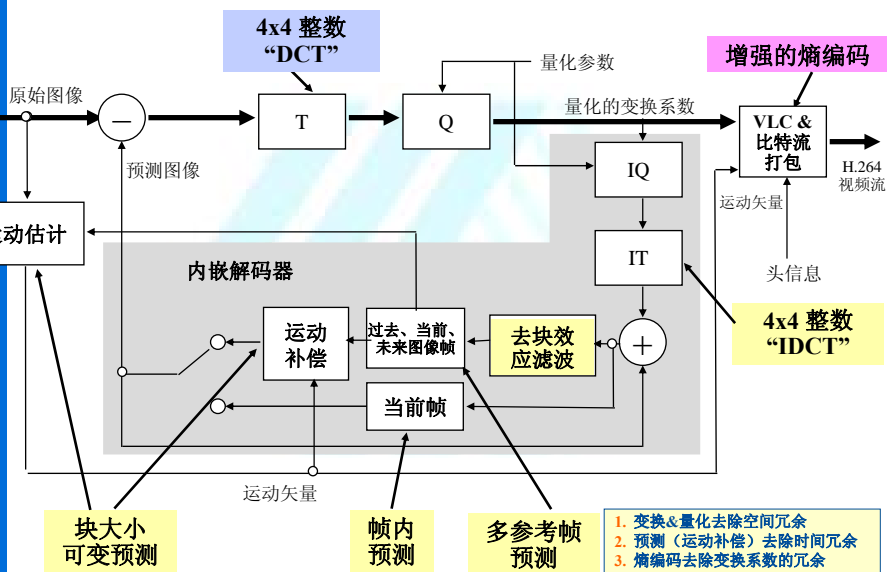
- 并行BT656 压缩前物理接口，SPI 是压缩后的物理接口
- 数据和时钟使用 110 Ohm 双绞线
- LVDS 电平信号 @ 27 MHz
- 数据宽度: 8 bits NRZ 数据 + 3 控制信号
- 使用 DB-25 物理接口
- 所有的电缆都有屏蔽，以防止 EMI。



ASI - DVB 异步串行接口

- 基本与 SDI 相同，ASI 是压缩后的物理接口
- 使用标准 75 Ohm 视频同轴电缆
- 也定义了 1300 nm 光纤接口
- 数据的 270 Mb/s 串行数据码流
- ~~■ X^3+X^4+1 置乱用于数据保护~~
- 接口码型 8B/10B
- 电平 800 mV pk-pk
- 电缆接头采用 BNC

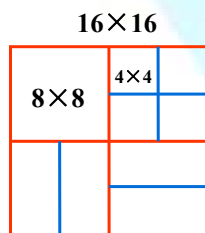
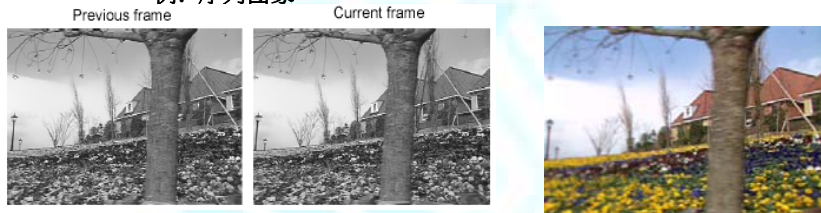
视频编码算法



视频编码技术：运动补偿

运动补偿：去除时间冗余

例：序列图像



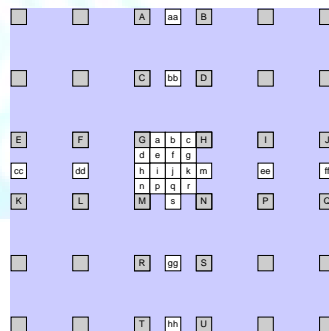
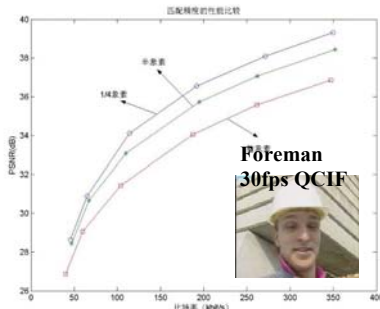
动机：运动/固定目标的大小是可变的

- 许多小块也可能需要花费许多比特来编码
- 不同块大小和形状的运动补偿

运动补偿：发展趋势

运动估计的精度不断提高

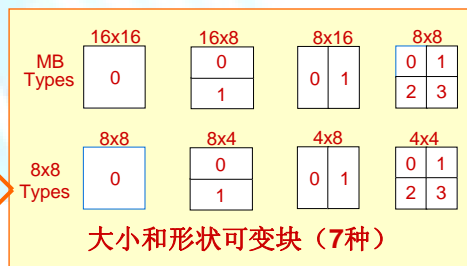
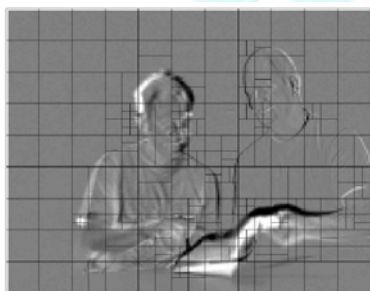
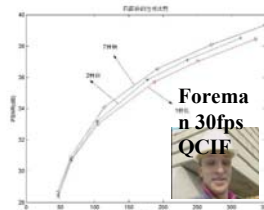
- H.261：整像素
- H.263/MPEG2：半像素
- MPEG4：1/2 像素为主，可选 1/4 像素
- H.264、AVS：1/4 像素
- 1/4 -pixel 比 1/2-pixel 获得 1.5-2dB 增益，约节省 20% 的比特率



运动补偿：发展趋势

运动估计匹配块的尺寸不断缩小

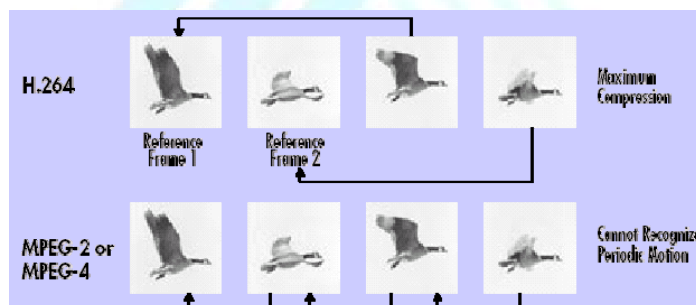
- ✧ H.261: 16×16
- ✧ H.263: 8×8
- ✧ H.264: 7 种可变块大小, 最小 4×4
- ✧ AVS: 4 种可变块大小, 最小 8×8
- ✧ 节省了15%以上的比特率



运动补偿：发展趋势

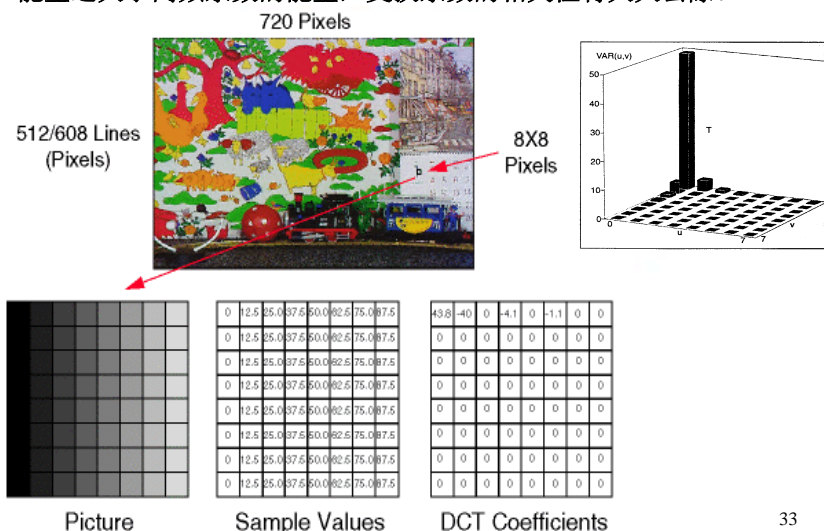
运动估计参考帧的数量不断增加

- ✧ I 帧 (帧内编码)、P 帧、B 帧
- ✧ 多参考帧预测: 假设为5个参考帧预测, 相对于一个参考帧来说, 可节省 5% 到 10% 比特率。
 - ✧ H.264 P 帧、B 帧前后最多 16 帧
 - ✧ AVS P 帧前后 2 帧、B 前后 1 帧



视频编码技术：变换编码

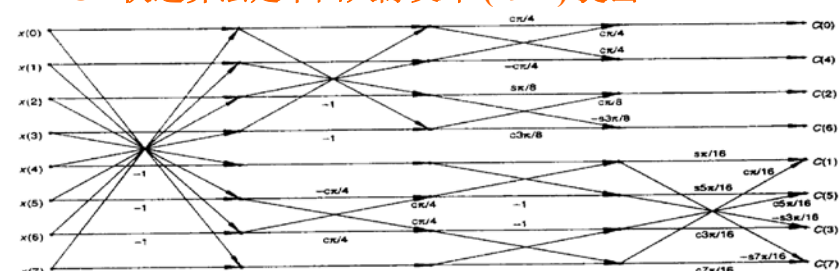
- **变换编码：去除空间冗余。**变换后，在变换域中，低频系数的能量远大于高频系数的能量，变换系数的相关性将大大去除。



33

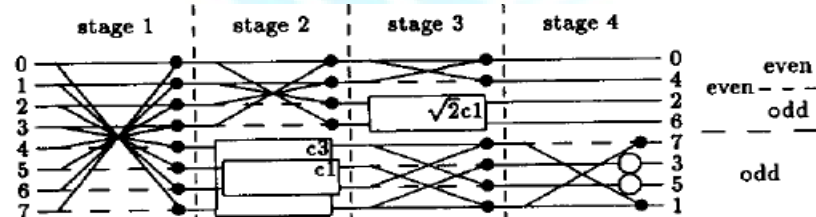
变换编码：DCT 快速算法

- **DCT 快速算法**是中国人陈文雄 (1977) 提出



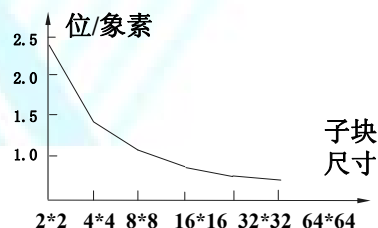
- **LLM 快速 DCT 算法** (Loeffler, Ligtenberg and Moschytz)

□ 此算法需要 11 次乘法和 29 次加法



变换编码： DCT 变换的尺寸

- DCT 编码效率和尺寸之间的关系是单调曲线，其拐点在 4×4 、 8×8 、 16×16 区段
- 需要根据图像分辨率（QCIF、CIF、SDTV、HDTV或数字电影）选择 DCT 变换块的大小。
 - ✧ 更适宜于小尺寸图像，相应的块效应主观感觉也会减弱
 - ✧ 更好的运动补偿，意味着更小的空间相关性
- H.264 有 4×4 、 8×8 变换块
- AVS 有 8×8 变换块



变换编码： DCT 变换的复杂度

- H.264、AVS 等使用了非常简单的整数 4×4 或 8×8 变换：
 - ✧ 对传统 DCT 非常精巧的逼近
 - ✧ 变换矩阵只包含 ± 1 和 ± 2
 - ✧ 计算只需要加法、减法和移位
- 结果显示仅有可以忽略不计的质量损失 ($\sim 0.02\text{dB}$)

- 差值图像基于 4×4 整数变换：

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

- 主类：自适应块大小变换 (8×4 , 4×8 , 8×8)
- 对于 8×8 色度和 16×16 帧内亮度块 DC 系数再次变换 (Repeated Transform)

视频编码技术：熵编码

■ 熵编码原理—变字长编码定理

- ✧ 在变字长编码中，对于出现概率大的信息符号，赋予短字长的码，对于出现概率小的信息符号，赋予长字长的码。如果码字长度严格按照符号概率的大小的相反顺序排列，则平均码字长度一定小于按任何其它符号顺序排列方式得到的码字长度。
- ✧ 最佳的平均码字长度：

$$\bar{I}_{av} = \sum_{k=1}^{K-1} I_k P(a_k)$$

其中：P(a_k) 是信源符号 a_k 出现的概率；I_k 是符号 a_k 的编码长度

■ 熵编码的种类

- ✧ **Huffman编码**：Huffman 于 1952 发明了整数码的最佳变字长编码，利用了上述熵、熵编码和变字长编码概念。所谓的整数码是指每个符号所对应的码字的位数都是整数。
- ✧ **算术编码**：非整数码的最佳变字长编码。

视频编码技术：熵编码新技术

■ 基于上下文的自适应二进制算术编码（Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC）

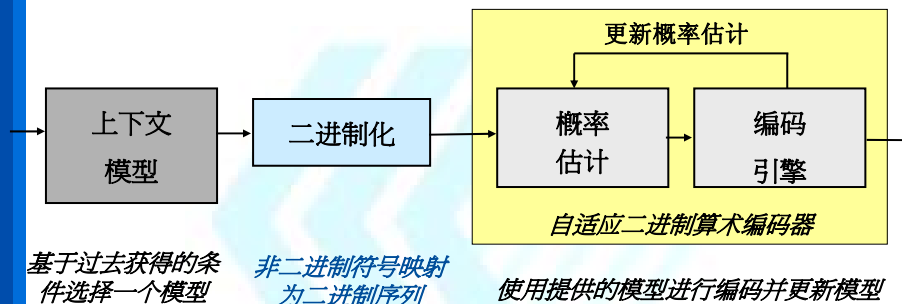
- ✧ 通过使用上下文，利用符号间相关性
- ✧ 使用自适应概率模型
- ✧ 使用算术编码使得每个符号有非整数比特
- ✧ CABAC 性能（ITU H.26L (TML4) 测试模型）
 - ✧ QCIF：节省 4.5%~15% 比特率
 - ✧ CIF：节省 5%~32% 比特率

■ 基于上下文的自适应变长编码（Context-based variable Length Coding, CAVLC）

- ✧ 通过使用上下文，利用符号间相关性
- ✧ 概率分布是静态的
- ✧ 码字只能是整数比特

视频编码技术：熵编码新技术

■ H.264 CABAC 熵编码



■ 获得好的性能，源于：

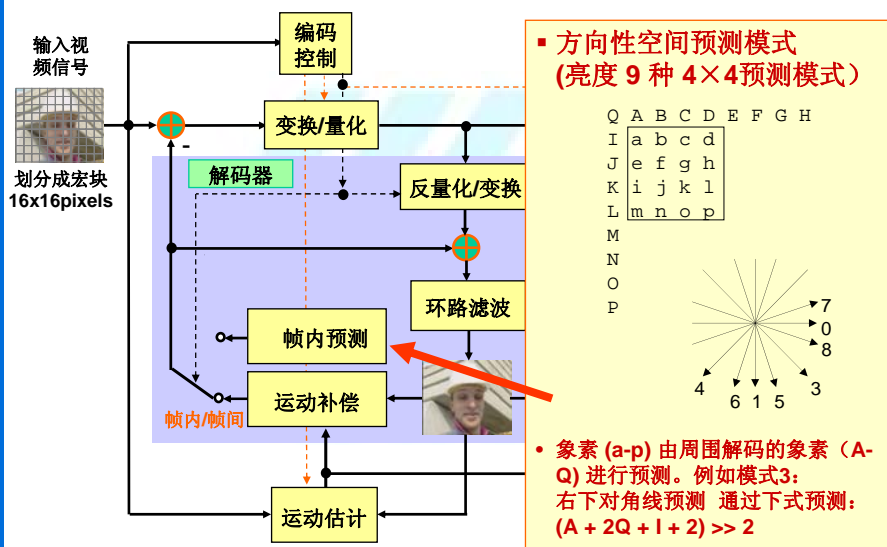
- 通过上下文选择模型
- 基于本地统计的自适应估计
- 算术编码减少计算复杂度

视频编码技术：帧内预测

■ 动机：I 帧是自然图像，具有很强的空间相关

- H.261、MPEG2 没有帧内预测，只有帧间预测
- H.263++ 和 MPEG4 中，在变换域中根据相邻块对当前块的某些系数做预测
- H.264 在空域内，依据与当前块相邻的像素，对当前块进行预测。
 - ◇ 宏块或块基于先前编码的块进行预测：
 - * 先前编码的块位于当前块的上面和/或左面的块
 - ◇ 亮度块有两类帧内预测方式：
 - * 9 种 4×4 帧内预测模式，用于纹理区域
 - * 4 种 16×16 帧内预测模式，用于平滑区域
 - ◇ 色度样值只有 4 种 8×8 帧内预测模式，类似于亮度样值的 16×16 帧内预测模式
- AVS 同样思想：
 - * 5 种 8×8 帧内预测模式，用于纹理区域
 - * 4 种 8×8 帧内预测模式，用于平滑区域

视频编码技术：帧内预测

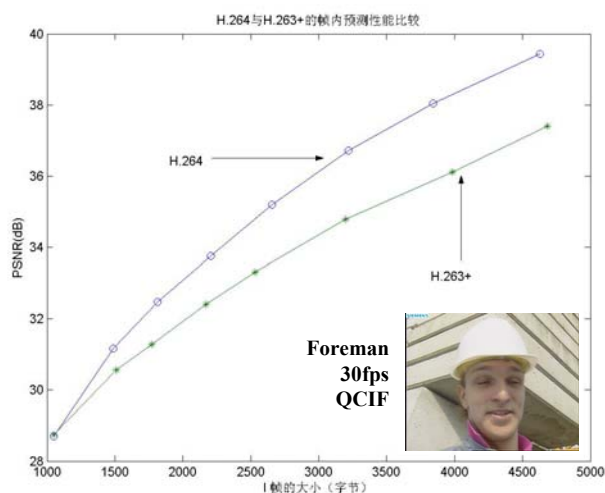


北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

41

视频编码技术：帧内预测

H.264 帧内预测性能分析



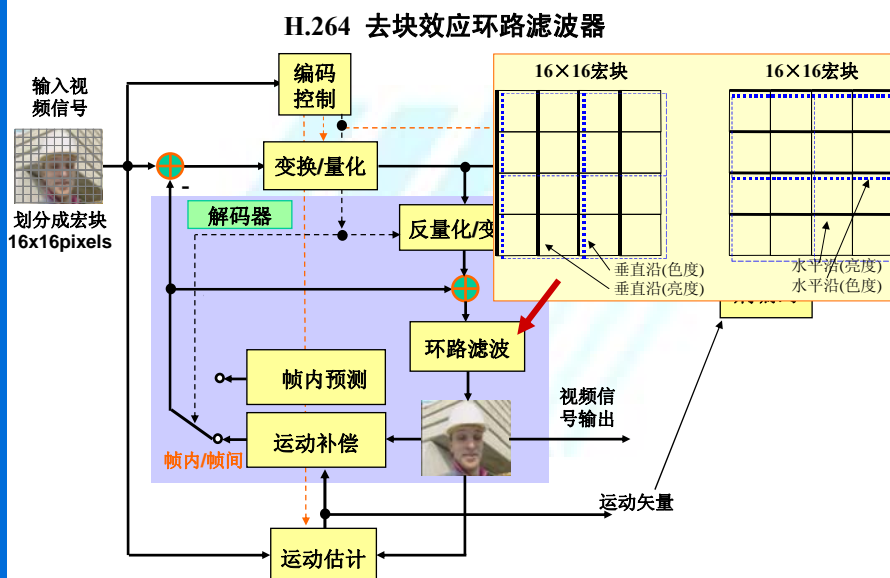
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

42

视频编码技术：去块效应环路滤波器

- 动机：基于块匹配的 MC 和块变换、量化将产生块效应
 - ✎ 在低码率时，人眼易于观察到。
- 以前的标准采用简单的滤波器去“模糊”块之间的边界。
 - ✎ 环路滤波器最早出现在 H.261 标准中，它采用了简单的一维水平和一维垂直滤波器，其脉冲相应为 $[1/4, 1/2, 1/4]$ 。
- H.264 对每个边界自适应地选择应用 5 个去块效应滤波器之一。
 - ✎ 例如，若两个块具有相同的运动矢量，就需要较小的滤波。
 - ✎ 提高了客观 (*objective*) 质量，以及在相同的 PSNR 下，减少了约 7-9% 比特率。

视频编码技术：去块效应环路滤波器



视频编码技术：去块效应环路滤波器

■ H.264 去块效应环路滤波器

- ✧ 高压压缩解码的帧间图像
- ✧ 显著地减小预测残留图像



没有滤波



H.264/AVC 去块效应滤波

视频编码技术：主要视频编码标准的技术比较

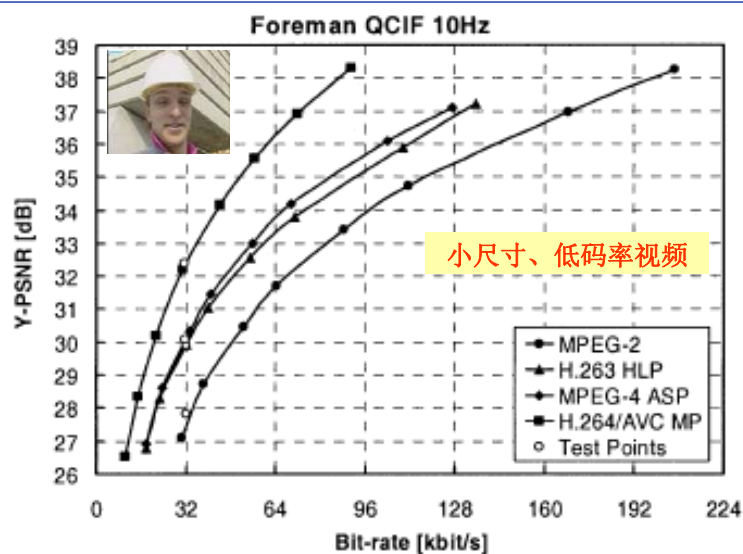
	MPEG-2	MPEG-4	H.263	H.264	VC-1	AVS
变换	8x8 DCT变换	8x8 DCT变换	8x8 DCT变换	4x4、8x8 整数变换 4x4、2x2 哈达码变换	4x4、8x4、4x8、8x8 整数变换	8x8 整数变换
量化	传统方式	传统方式	传统方式	乘法与移位实现	传统方式	乘法与移位实现
帧内预测	变换后 DC系数	变换域帧内预测	变换域帧内预测	4x4、8x8亮度块：9种 16x16亮度块：4种 色度块：4种	变换域帧内预测	8x8亮度块：5种 色度块：4种
运动补偿块大小	16x16、16x8	16x16、16x8、8x8	16x16、8x8	16x16、16x8、8x16、8x8、8x4、4x8、4x4	16x16、8x8	16x16、16x8、8x16、8x8
运动矢量精度	1/2 像素	1/4 像素	1/2 像素	1/4 像素	1/4 像素	1/4 像素
内插滤波器	1/2 像素：2-tap 1/4 像素：2-tap	1/2 像素：8-tap 1/4 像素：2-tap	1/2 像素：2-tap	1/2 像素：6-tap 1/4 像素：2-tap	1/2 像素：4/2-tap 1/4 像素：4-tap	1/2 像素：4-tap 1/4 像素：4-tap
参考帧	1个参考帧	1个参考帧	1个参考帧	16个参考帧	1个参考帧	2个参考帧
B 帧特征	前向/后向 前向/前向 后向/后向 2个运动矢量	前向/后向 前向/前向 后向/后向 2个运动矢量	前向/后向 前向/前向 后向/后向 2个运动矢量	前向/后向 前向/前向 后向/后向 2个运动矢量	前向/后向 2个运动矢量	前向/后向 对称的1个运动矢量
去块效应滤波	无	有	有	有	有	有
熵编码	VLC	VLC	VLC、算术编码	VLC、CAVLC、CABAC	多 VLC 码表	自适应 VLC 码表
帧编码类型	帧、场、PAFF	帧、场、PAFF	帧	帧、场、PAFF、MBAFF	帧、场、PAFF	帧、场、PAFF
类 (profile)	Simple、Main、High 等	19 个类		Baseline、Main、Extended、High (FRExt)	Simple、Main、Advanced	一个类
帧类型	I、P、B	I、P、B	I、P、B、SI、SP	I、P、B、SI、SP	I、P、B、BI	I、P、B
取样格式	4:2:0、4:2:2	4:2:0	4:2:0	4:2:0、4:2:2、4:4:4、灰度、RGB	4:2:0	4:2:0

视频编码技术：性能比较

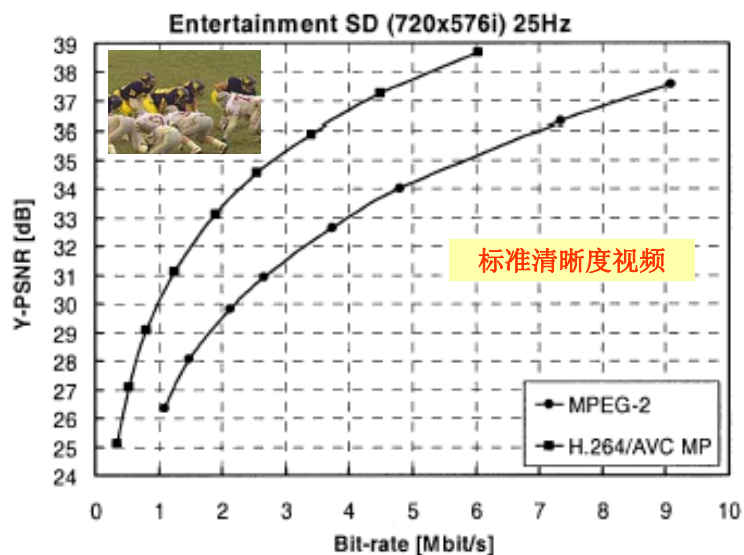
- 评价一个编码标准的效率，需要采用统一的测试信源，并进行主、客观全面比较，包括系统软件仿真比较和硬件编解码器性能测试比较。

- ✧ 理论性能和实际实现质量的差异需要认真考虑
- ✧ 目前这方面的文章较多，但多数都是计算机仿真比较。目前大部分都是标准的测试模型对一些公用的标准序列进行压缩编码，作出率失真曲线来比较。
- ✧ 目前多数测试为：QCIF、CIF、SDTV、HDTV 和 D-Cinema，但还不充分，最终需要大量的测试材料才具有统计意义。

视频编码技术：性能比较



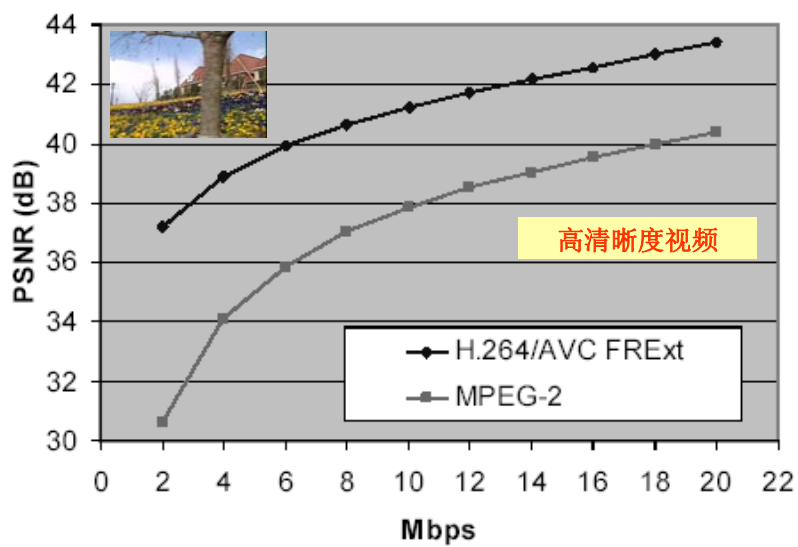
视频编码技术：性能比较



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

49

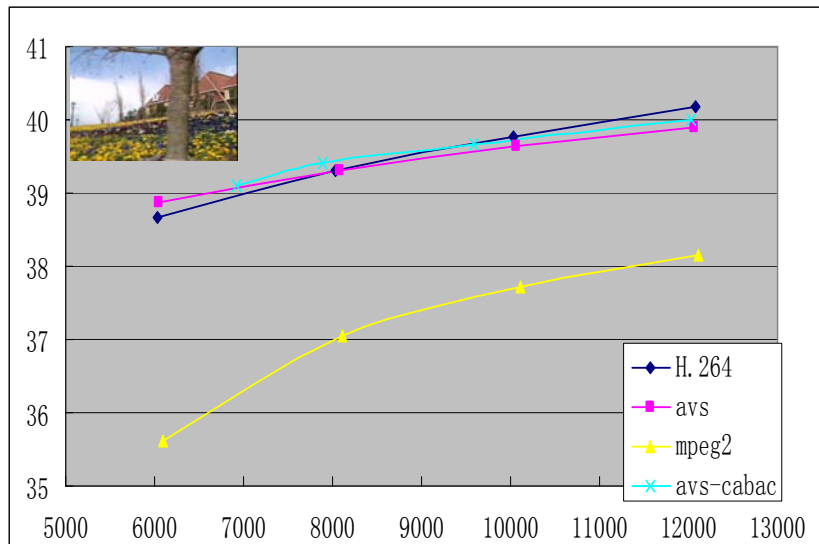
视频编码技术：性能比较



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

50

视频编码技术：性能比较



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

51

视频编码专利： H.264 Licensing

■ MPEG LA

<http://www.mpegla.com>


- ✧ 1996年在美国成立的专利授权代理公司
- ✧ 为专利持有者许可授权 (Licensing Authority)

■ AVC 专利费的厂商有两种类型：

- ✧ 编解码产品制造商
 - ✧ 解码器、编码器和编解码器分开执行
 - ✧ 每个用户需要许可，即使是零费用。
- ✧ 视频节目运营商
 - ✧ 需要支付加盟费，即根据节目数量、订户和本地发射台数等参数来对运营商收费，每个运营商每年350万美元封顶。

■ H264 Baseline Profile

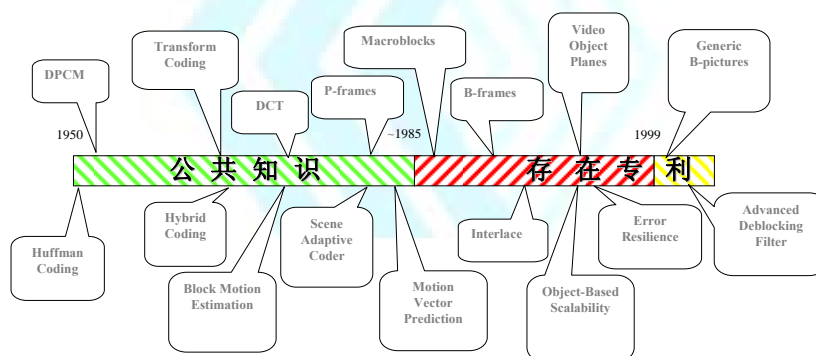
- ✧ 0-100KU/年 = 没有专利权使用费
- ✧ > 100KU/年时，\$0.20/unit; \$.10/unit > 5MU/年

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

52

视频编码专利： 中国 AVS

- AVS持有多项专利，且大部分国内持有，在专利费方面可能要少的多；
- 但还需要采取措施注意这个重要问题：
 - ✧ 与专利持有者事先谈判
 - ✧ 委托权威机构评估

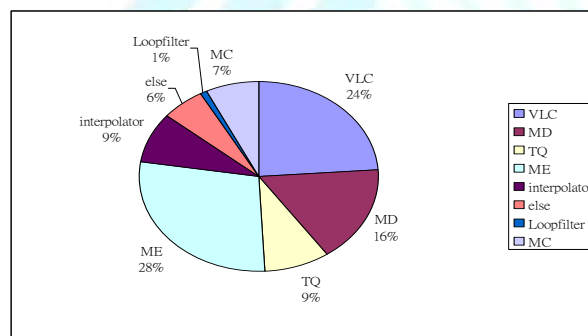


北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

53

视频编码实现： H.264

- H.264 编解码器的实现意味着放宽通常的复杂度(存储和计算)限制，相对于 MPEG2编解码器，粗略估计：
 - ✧ 解码能力需要增加 4-5x
 - ✧ 编码能力需要增加 10x
 - ✧ 折中：最好的质量和最小的带宽消耗，高度复杂计算使得 ASIC 昂贵，实现复杂。Baseline Profile 免费。



MD: 模式判决
TQ: 变换和量化
MC: 运动补偿
ME: 运动估计
VLC: 变长码

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

54

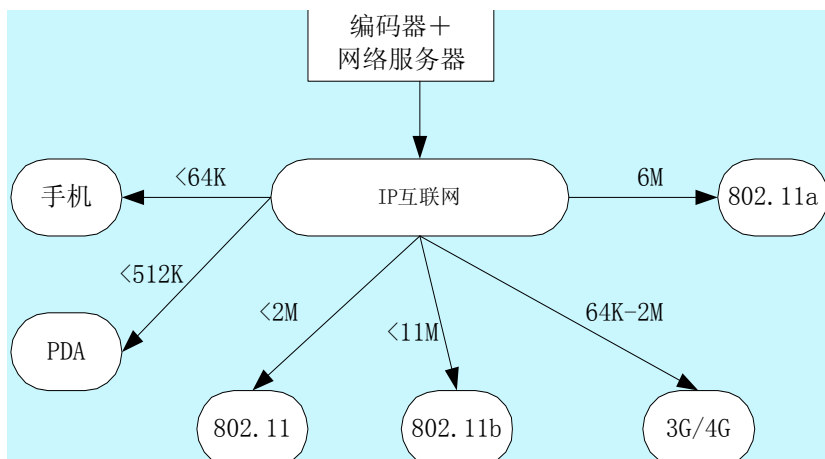
视频编码应用：领域

- H.264、VC1 和 AVS 产品不断出现，开始推广应用。
 - ✧ 娱乐视频 (1~8Mbps, 较高时延) : **MPEG2**
 - ✧ 视频广播：地面/卫星/有线
 - ✧ 存储：**DVD**/Hard Disk/Web publishing ...
 - ✧ 可视通话 (<1Mbps, 低时延) : **H.263**
 - ✧ H.32X 视频会议：H.320 N-ISDN/H.323 Non-QoS LAN/H.324 PSTN
 - ✧ 移动视频业务：GSM GPRS/CDMA1x/3GPP
 - ✧ 流媒体业务 (更低码率、更高时延) : **MPEG4**
 - ✧ VOD
 - ✧ 多媒体短信
 - ✧ 3GPP 流 IP/RTP/RTSP

视频编码的发展：视频分级编码SVC

- SVC 就是只需经过一次高分辨率、高质量的可伸缩的压缩编码，解码器可以从这单一码流中，根据接收码流的长度，解码出不同质量、分辨率和帧率的图像序列。
- 需求：
 - ✧ 有丰富的终端解码设备
 - 从小的移动终端到大的电影播放器。它们对视频的尺寸、质量、帧率要求各不相同。
 - ✧ 在不同带宽的信道中传输
 - 窄带、宽带、变带宽的因特网信道。它们对视频码率大小各不相同，特别是因特网信道带宽是随时变化的。

视频编码的发展：视频分级编码SVC



视频编码小结

- 现代视频编码体系结构没有革命性的改变，**基于混合视频编码方案**，但不断改进，越来越精巧和完善，使得压缩率和图像质量不断提高，复杂度也大大增加：
 - ✧ **新的关键技术特征：**
 - ✧ 增强的运动补偿
 - ✧ 小尺寸的整数变换
 - ✧ 增强的熵编码 CAVLC 和 CABAC
 - ✧ 其它：增强的去块效应滤波器等
 - ✧ 在相同质量下，**节省比特率 50% 以上**，主观质量感觉比客观 PSNR 指标更好。
 - ✧ **复杂度增加，编码器 3-10x，解码器 2-5x**
- 最新发展的标准有 **H.264/MPEG AVC、SMPTE VC1/MS WMV9 和我国的 AVS**。
- **研究方向是可伸缩的视频编码 (Scalable Video Code, SVC)**，不同的应用可以由一个共同的码流来实现，目前已经公布的视频编码标准都没有这个功能。

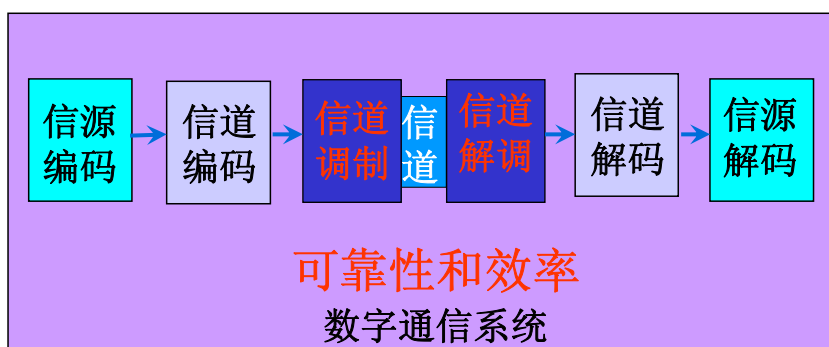
报告提纲

从信源到信道

—— 视频和MPEGx、信道和DMB-T、DVB-S2



传输系统物理层模型



问题：电波传播环境

■ 电波传播路径地形分类

- 平坦 5~10m
- 准平坦 10~20m
- 起伏 20~40m
- 丘陵 40~80m
- 山区 >80m

■ **多径产生的机理**：在实际的无线信道中，影响电磁波传播的传播机制主要包括三种——反射、衍射和散射

- **反射 (Reflection)**：当电磁波在传播过程中碰到尺寸远大于自身波长的物体表面时，就会出现反射现象。
- **衍射 (Diffraction)**：当电磁波传播路径中存在棱角分明、形状不规则的障碍物时，会出现衍射现象，使电磁波得以绕过障碍物继续传播。
- **散射 (Scattering)**：当电磁波在传播过程中遇到大的、粗糙的表面，或者在电磁波传播的单位空间中存在大量尺寸较小（相对于电磁波波长）的物体时，就会发生散射现象。

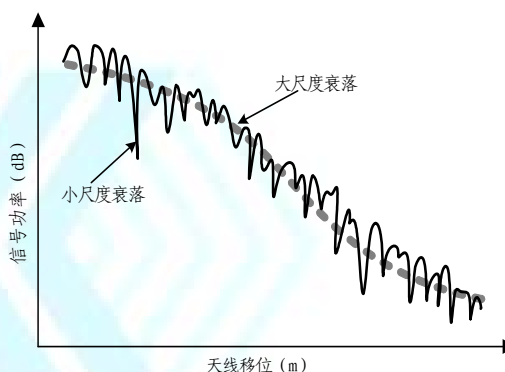
■ 按照地物的密集程度分为：

- **开阔地环境**：在电波传播路径上无高大树木、建筑物等障碍物，呈开阔状地面
- **郊区环境**：平坦地形，在移动台附近有些障碍物但不稠密，建筑物多为 1~2 层楼房。
- **城市环境**：有较稠密的建筑物和高层楼房
 - ✦ 大都市高楼大厦稠密建筑区；
 - ✦ 中等稠密建筑区：多为 2~8 层，间或 40 层高楼
 - ✦ 中小建筑区：多为 2~5 层，间或 20 层高楼
 - ✦ 平房建筑区：多为 2~4 层

问题：电波传播衰落特性

■ 根据成因及特点的不同，无线移动信道中的衰落可以分为两大类：

- **大尺度衰落**：接收机在大范围内移动或建筑物阻挡，而引起的平均信号能量的减少或路径损耗；
- **小尺度衰落**：由于信号的多径传输，以及发射机与接收机之间空间位置的变化而引起的信号损伤。



■ 产生接收信号变化的原因

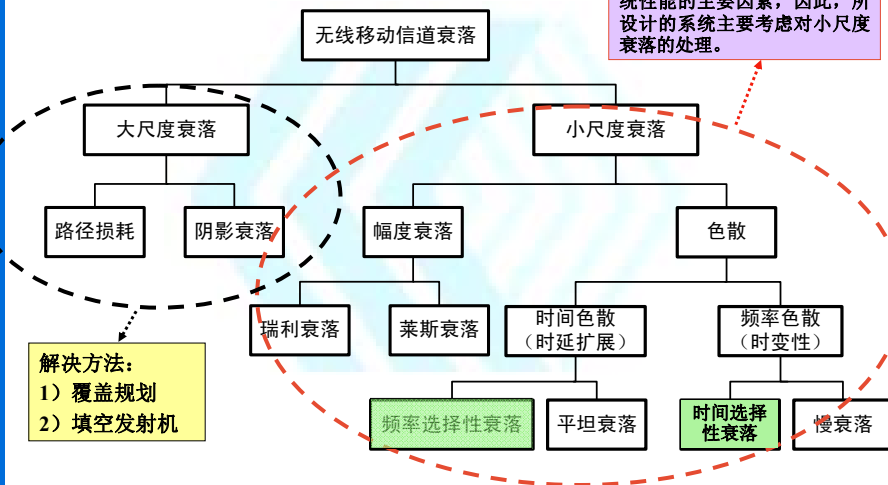
- **空间传播损耗—Path loss**
- **阴影效应**，由地形结构引起。
- **多径效应**，由移动体周围的局部散射体引起的多径传播。
- **多普勒效应**，由于移动体的运动速度和方向引起，

● 无线信道信号分析的内容：

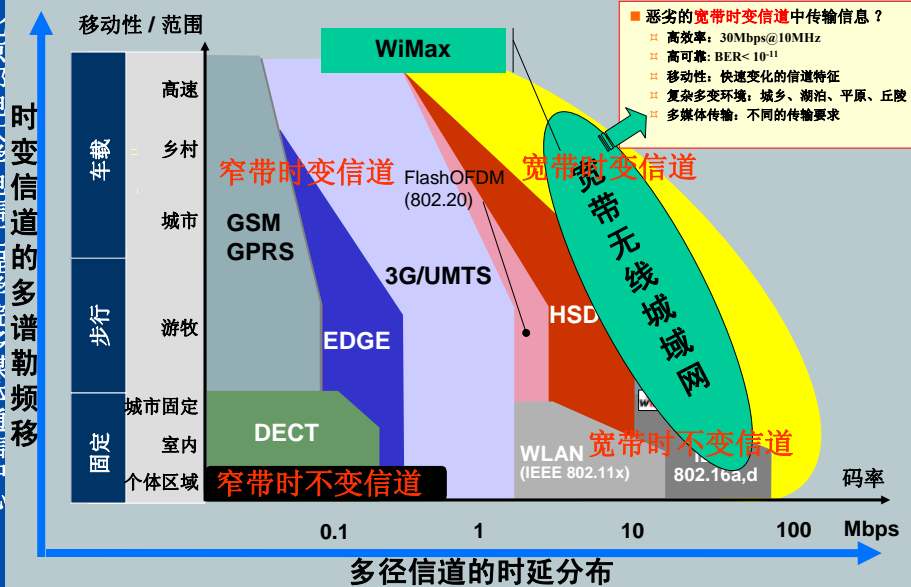
- 分析衰落的统计特性
- 给出一些经验模型
- 分析传播损耗的一般特性

问题：电波传播衰落分类

无线信道衰落类型



问题：信息传输技术的发展



问题：Shannon 折中空间

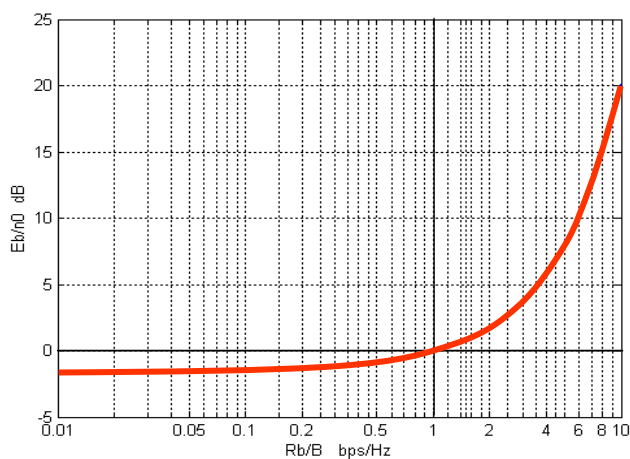
■ **Shannon理论曲线说明：** 噪声只是限制了可以得到的信息传输速率，但不能限制可以获得的精确度。只要信息传输速率低于信道容量 C ，理论上可以找到一种编码方式可以获得误码率为任意小的信息传输。（无误码理论曲线）



Shannon in his office at Bell Labs



Shannon around 1950
1916-2001

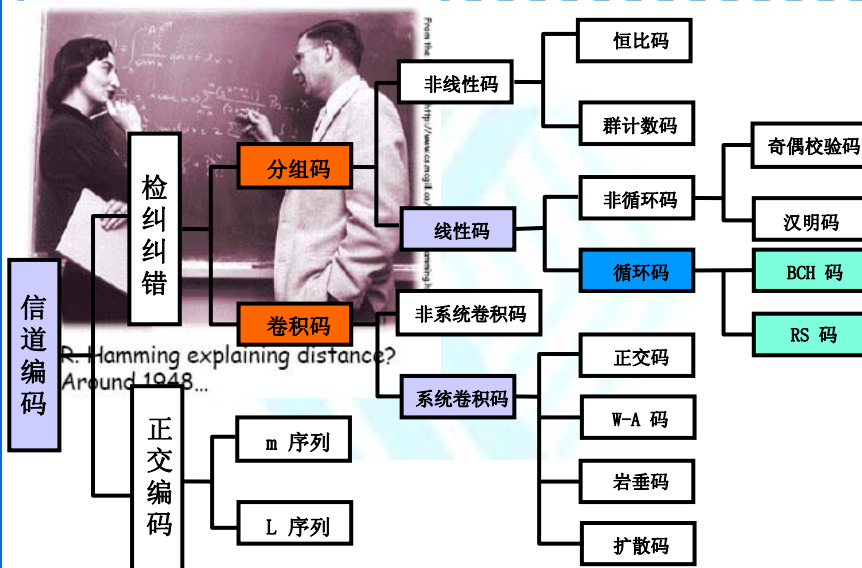


北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

高斯信道信道容量理论极限曲线

65

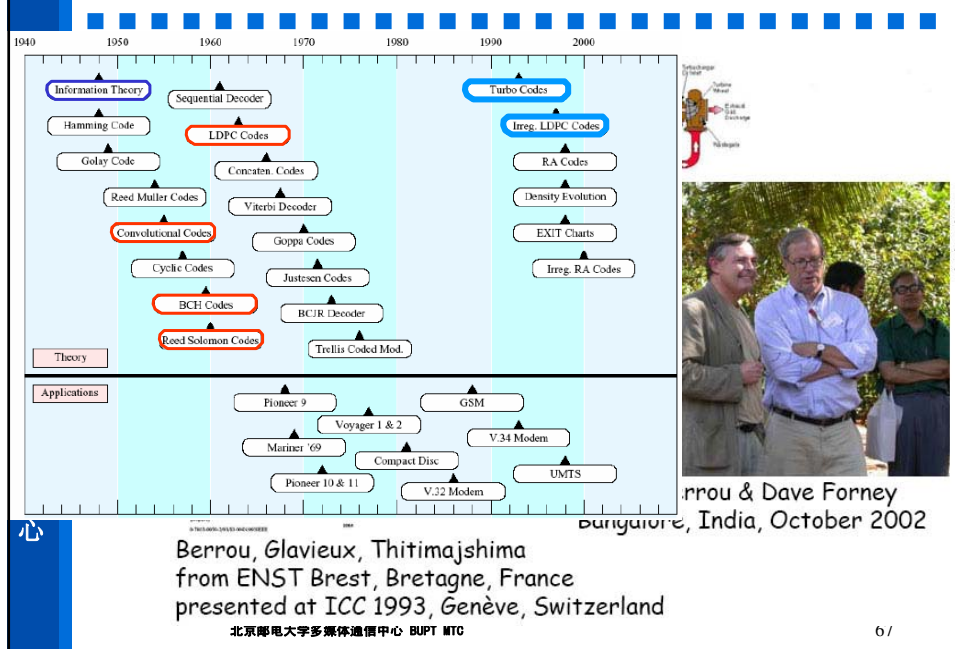
纠错编码：分类



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

66

纠错编码：里程碑

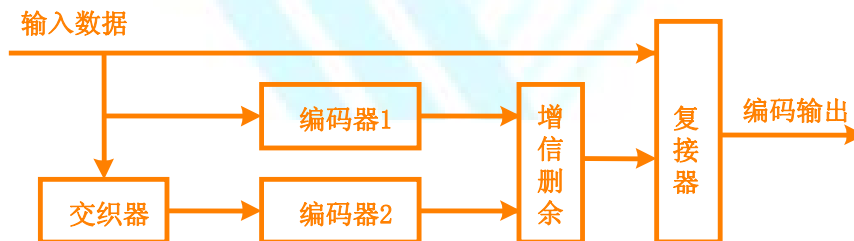


纠错编码：Turbo 卷积码 (TCC)

Turbo Convolutional Code (TCC)

- 1993 年法国人 Claude Berrou 提出的一种新的并行级联码，当码率为 1/2，BER 为 10^{-5} 时， E_b/n_0 仅为 0.7dB，非常接近 Shannon 极限。

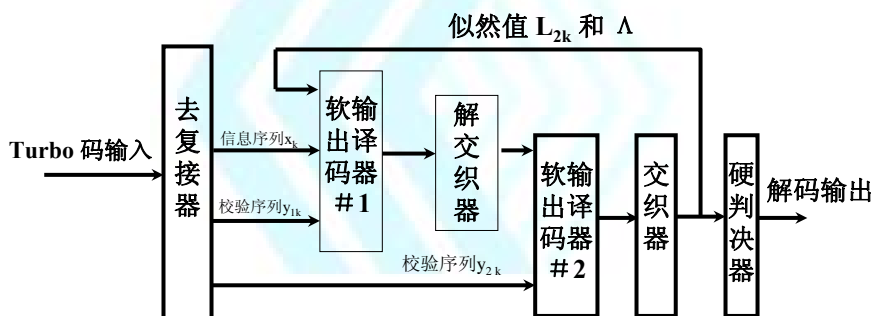
- 并行级联卷积码 (Parallel Concatenated Convolutional Code, PCCC)
- 循环系统卷积 (Recursive Systematic Convolution, RSC) 编码器
- 伪随机交织器
- 软输入/软输出，最大后验 (Maximum A Posteriori, MAP) 概率算法的子译码器
- 迭代 (Turbo) 译码算法



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

纠错编码：TCC 码解码器（反馈结构）

- Turbo- Codes 译码器采用最大后验概率准则的迭代译码，其典型结构如图所示。由图可知，译码器 1 和译码器 2 都采用软输出译码算法，并且译码器 2 的软输出信息反馈至译码器 1。



纠错编码：LDPC 码

■ Low Density Parity Check (LDPC) Code

- ✧ 1963年 Robert Gallager 在其博士论文中提出了规则 LDPC 码，但没有有效的实现而沉寂了，在九十年代 Turbo 码热潮中获得了新生，1995年 Mackay 和 Neal 重新介绍了 LDPC，成为热点。
- ✧ LDPC 码是长的线性分组码，其校验矩阵 H 是稀疏矩阵，码组长度 n 通常很大，从几千到几十万比特。

■ QC-LDPC 码

- ✧ 较短的码长，时延小；
- ✧ 编码器采用简单的移位寄存器实现；
- ✧ 编码具有系统循环结构化的特点，优化的实现方式：
 - ✧ 串行编码
 - ✧ 并行编码
 - ✧ 串/并混合编码
- ✧ 模块化的解码器结构；
- ✧ 性能接近随机非规则的 LDPC 码。



Bob Gallager

纠错编码：LDPC 码

- **规则 LDPC 码**：每行中有相同数量的“1”，每列亦是。
- **规则 LDPC 码的 H 矩阵举例**

□ $n = 20, J = 3, K = 4, d_{\min} = 6$, 设计码率 = $1/4$, 实际码率 = $7/20$.

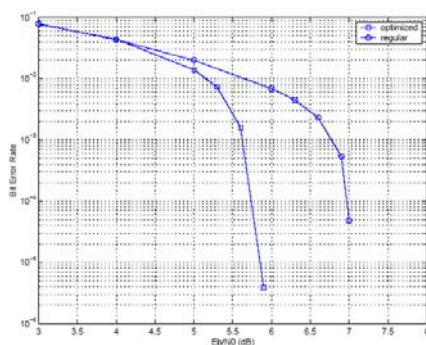
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

71

纠错编码：LDPC 码

- **无规则的 LDPC 码**
 - 在行向量中 1 的数目可能不相同，同样，列向量中也是如此。
 - 相对于规则的 LDPC 码，如果选择适当，将具有更好的性能。
- **基于图论的强大的迭代译码算法。**
 - 软判决：Sum-Product 算法
 - 硬判决：Bit-flipping 算法



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

LDPC 长度 $N = 1024$ 码率 $R = 1/2$

30次 BP 迭代

72

纠错编码：LDPC 码

■ 为什么采用 LDPC 码？有何特点？

- ✧ 人们对 **Turbo 码系列** 进行了大量研究，需要标准化；
- ✧ **LDPC 用最小的复杂度，提供了最好的性能；**
 - ✧ 较短的码字使复杂度减半，性能损失 0.2dB。
 - ✧ 这意味着在相同性能时，若 LDPC 采用全 BP (Belief Propagation) 译码算法，与 Turbo 码相比，LDPC 复杂度只有 1/4。
- ✧ 复杂度和性能之间更灵活的折中：
 - ✧ 易于并行解码，只包含加法、比较和查表等简单操作。
 - ✧ 并行度是“可调整的”，可在全并行和全串行之间折中实现
 - ✧ 量化字长显著影响实现性能
 - ✧ 除了 BP 译码算法，还有其它众多的次最优译码算法
- ✧ **不需要码交织**
 - ✧ 码结构本身就构成了随机化处理
 - ✧ 对于系统码，系统具有短的延迟
- ✧ 简单有效的迭代译码
- ✧ 本身适于双向图表示
- ✧ **LDPC 具有误码平台 (Error Floor)**，DVB-S2 FEC 采用了 BCH + LDPC，二进制码 (比如 BCH) 对所有的调制方式都具有良好的性能。

纠错编码：LDPC 码

■ 线性分组码

- ✧ 线性分组码既可以用生成矩阵 G ，也可以用校验矩阵 H 来描述，两者有：

$$G \cdot H^T = 0 \quad \text{或} \quad H \cdot G^T = 0^T$$

- ✧ 假如**规则** LDPC 为 $n=8$ ，码率为 $1/2$ ，其校验矩阵为：

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- ✧ 二进制信息矢量： $u = (u_1, u_2, u_3, u_4)$ (长度 k)
- ✧ 码矢量 (码字)：

$$c = u \cdot G = (c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8) \quad (\text{长度 } n)$$

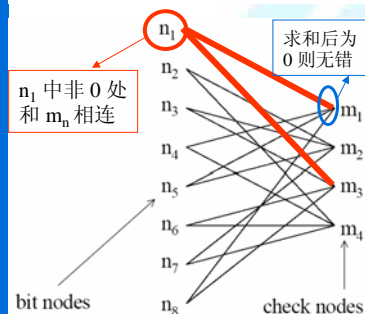
- ✧ 线性分组码的码字 c 满足：

$$c \cdot H^T = 0 \quad \text{或} \quad H \cdot c^T = 0^T$$

纠错编码：LDPC 码

LDPC 双向图和解码

$$H = \begin{bmatrix} n_1 & n_2 & n_3 & n_4 & n_5 & n_6 & n_7 & n_8 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{matrix}$$



图形描述最重要的结果：高效迭代译码

(软判决) 消息传递：

变量节点和校验节点相互传递可靠性 (对数似然性 **log-likelihoods**)

校验节点决定哪些变量是不可靠的，并“抑制”它们的输入。

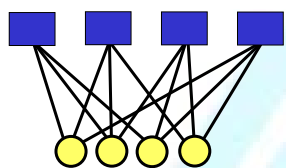
图中边的数目 = **H** 的密度

稀疏 = 小的复杂度

在标准信道中最好性能：长的、随机似的 **LDPC 码**

纠错编码：LDPC 码

LDPC 解码结构之一是可采用并行迭代译码结构



全并行

例如 DVB-S2 卫星接收机：

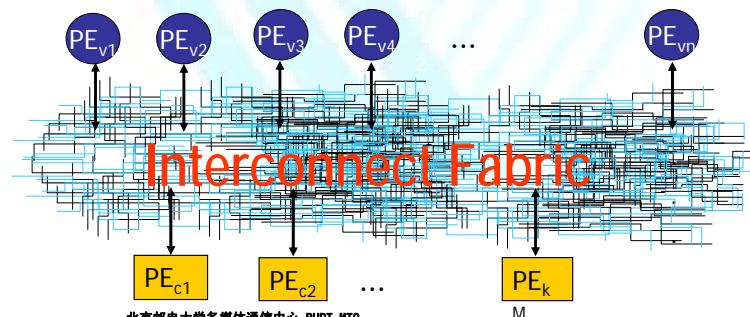
64800 变量节点处理单元 PE_v

6,000-3,200 校验节点处理单元 PE_c

高吞吐量，低功耗

路由复杂

[A. Blanksby and C. J. Howland, JSSC 2002]

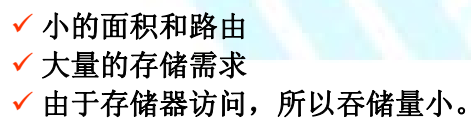


✓ 结构化的 LDPC codes



77

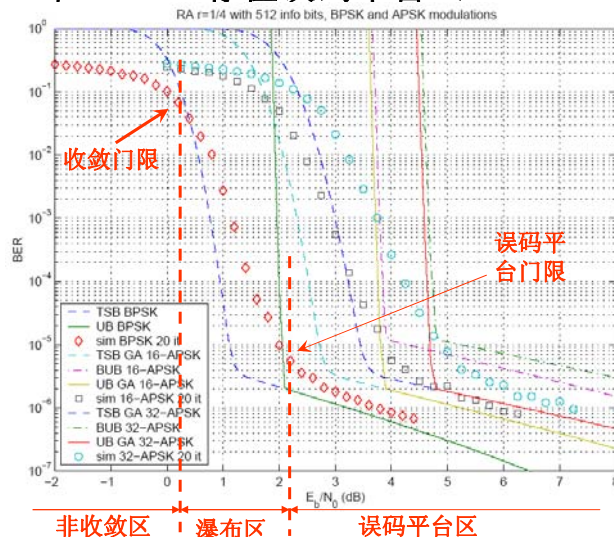
■ 串行实现



78

纠错编码：误码平台

Turbo 和 LDPC 存在误码平台（Error Floor）



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

79

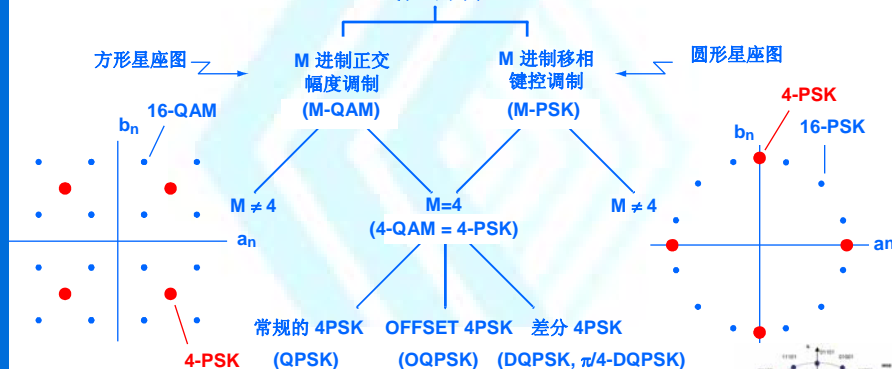
调制：线性调制技术

$$s(t) = \left[\sum_n a_n g(t-nT) \right] \cos \omega_c t - \left[\sum_n b_n g(t-nT) \right] \sin \omega_c t$$

I(t), In-phase 同相项

Q(t), Quadrature 正交项

线性调制



折中 Tradeoffs

- 更高进制调制（ m 越大），更高频率效率，但更低功率效率
- m QAM 比 m PSK 有更高的频率效率，但对系统非线性更敏感

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

调制： mQAM 星座图

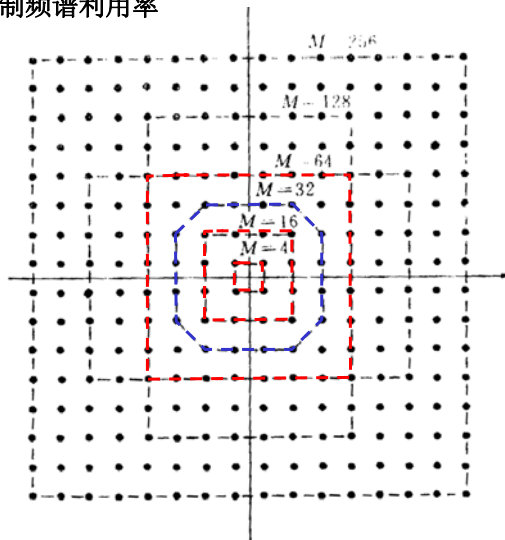
mQAM、VSB数字多电平调制频谱利用率

调制方式	bit/s/Hz
QPSK	2
16QAM	4
32QAM	5
64QAM	6
128QAM	7
256QAM	8
1024QAM	10
8VSB	6
16VSB	8

可实现的频带利用率

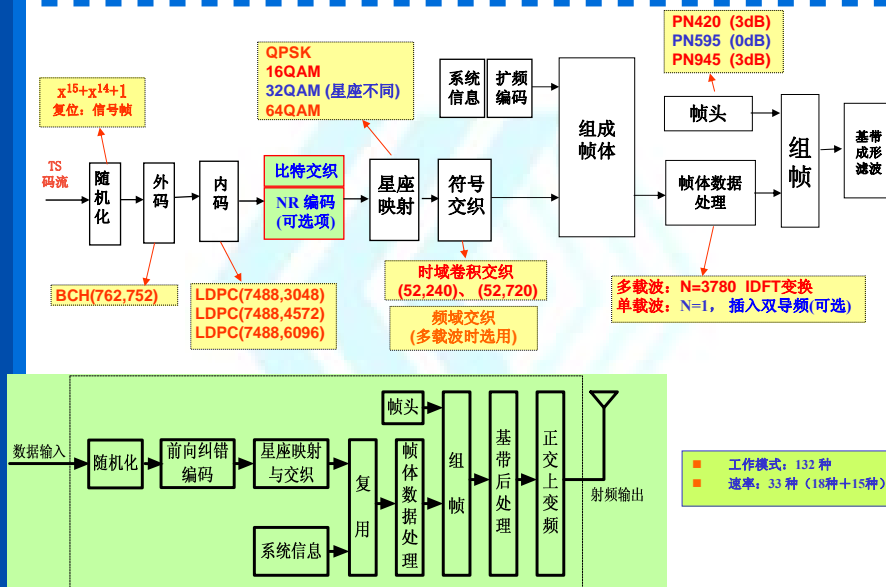
$$\frac{1}{1+\alpha} \log_2 m \text{ bit/s/Hz}$$

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC



81

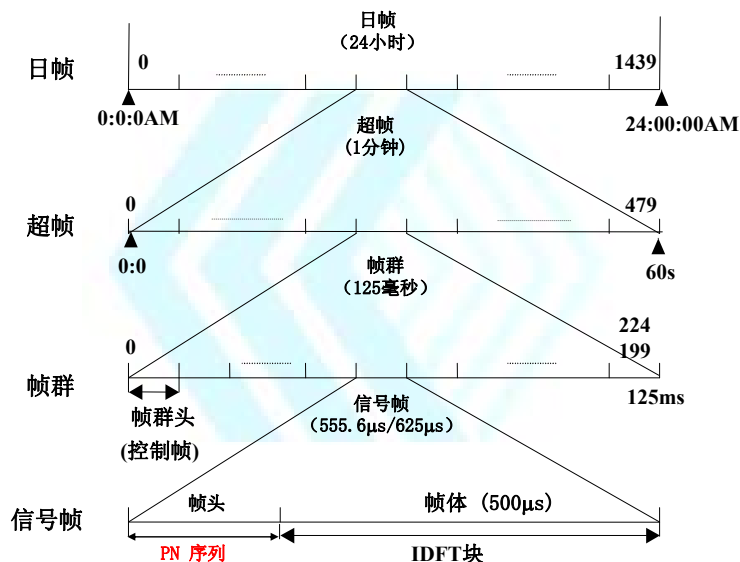
编码和调制： 国标原理框图



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

82

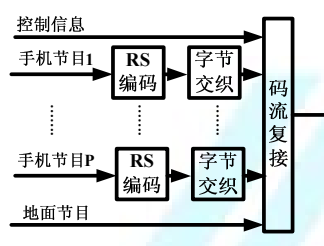
编码和调制：国标传输帧结构



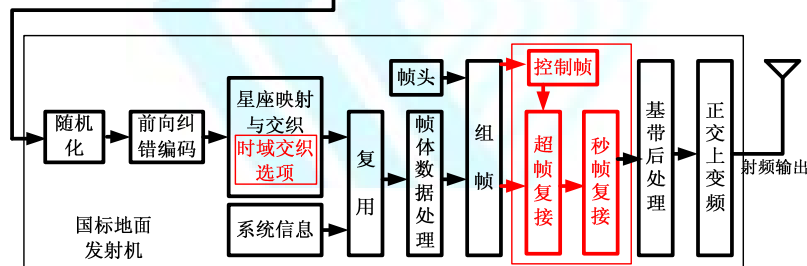
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

83

编码和调制：手机电视下行物理层框图



8MHz 的 DMMB 系统简称为 DMMB-W, 它与我国数字电视地面广播标准 (GB20600-2006) 最大兼容, 同时根据手机应用的特点, 对国标进行了扩展。在 DMMB-W 系统中, 地面节目和手机 / 移动多媒体广播节目可以分别单独播出或者两者在同一个频道内混合播出, 适合单发射机运营和大范围的单频网应用。



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

84

信道编码和调制小结

- **纠错编码:**
 - ✧ 外码: RS、BCH
 - ✧ 内码: 卷积、Turbo系列码、LDPC 码
- **调制**
 - ✧ QPSK
 - ✧ mQAM
- **地面数字电视:** 针对时变、宽带传输的需求, 运用新理论、新方法, 建立自主的性能先进的技术新体系。
 - ✧ 时域同步的正交频分复用调制 (TDS-OFDM) 技术
 - ✧ OFDM 保护间隔的填充技术
 - ✧ 编解码实现简单、性能优良的 QC-LDPC 纠错技术
 - ✧ 与自然时间同步的可寻址的复帧结构
 - ✧ 精确、快速的同步技术和宽带时变信道估计技术
- **手机电视:** 基于中国自己的地面数字电视广播协议, 并保持兼容, 具有频谱资源和政策优势。
 - ✧ TFM二维信道动态分配技术, 节目传输灵活, 节省功耗。
 - ✧ 费用低廉, 以广播方式同时为大量观众提供服务;
 - ✧ 低廉建设成本和快速建设周期;
 - ✧ 网络结构复杂度低;
 - ✧ 无高峰效应, 服务质量不受用户数量影响;

报告提纲

从信源到信道

—— 视频和MPEGx、信道和DMB-T、DVB-S2



主题概述

■引言

■DVB-S 回顾

- 系统框图
- 信号复接和传输结构
- 能量扩散
- FEC
- 成形滤波和调制
- 性能

■DVB-S2 是什么？

■ DVB-S2 物理层技术元素

■ DVB-S2 应用举例

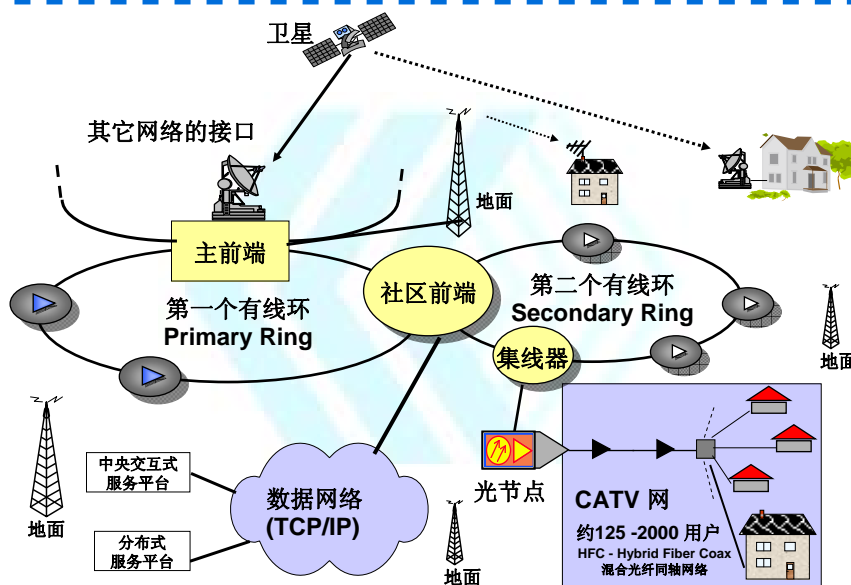
■参考资料



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

87

引言：视频广播网络



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

88

引言：卫星视频广播

■ 卫星是视频广播的理想平台

- ✧ 卫星数字视频广播系统包括卫星、广播中心和地面接收机（天线、机顶盒）；
- ✧ 视频广播最有效的覆盖方式——一颗卫星和一个频道就可覆盖整个国家；
- ✧ 前端设施成本低廉，包括卫星和广播中心；
- ✧ 点波束卫星能够提供本地到本地的业务；
- ✧ 随着信源压缩和信道传输技术的快速发展，卫星广播频道价格越来越低廉，甚至在欧洲出现了 Free-to-air DBS；
- ✧ DBS 用户数量快速增长。
- ✧ 中国也将发射直播星，和 S 波段多媒体广播星。

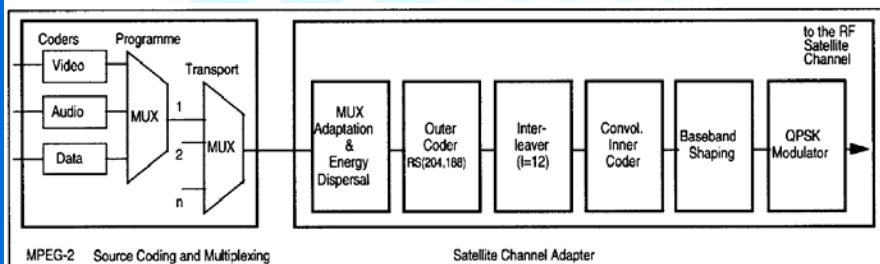
DVB-S 回顾：系统框图

■ DVB-S 是通信史上最成功的标准之一：

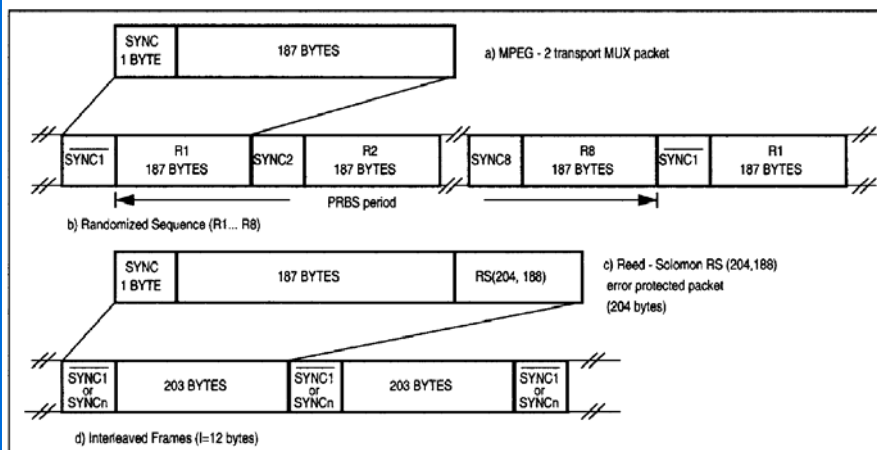
- ✧ 这意味着新的标准需要很好地处理与 DVB-S 的关系；
- ✧ 业务如何平稳转移、频谱规划、用户 STB 和用户流失等问题；

■ DVB-S 技术方案

- ✧ 基于 RS 码和卷积码构成的级联码，是上世纪六七十年代提出的纠错编码技术，非常成熟；
- ✧ QPSK 是唯一的调制方案，这限制了总的吞吐量。

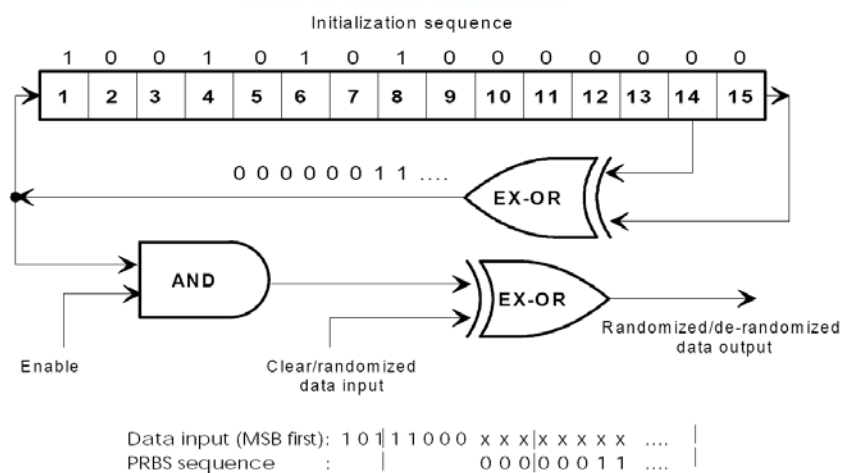


DVB-S 回顾：信号复接和传输结构



DVB-S 回顾：能量扩散

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



DVB-S 回顾: FEC 外码 (RS 码)

- 1960 年 MIT Lincoln Lab 的 Reed 和 Solomon 在发表了论文“Polynomial Codes over Certain Finite Fields”。
- RS 码是效率很高的分组码, RS 码是一类非二进制 BCH 码, 每个符号由 m 比特组成。既适用于纠随机误码, 也特别适用于纠突发误码。
- 去掉 RS 码的某些信息码元后, 分组长度缩短, 只要监督码元数不变, 码的最小距离就不会减少, 即任何一种缩短的 RS 码仍是一个最大码。
- 在 (n, k) RS 码中, 输入信息被分成 km 比特一组, 每组包括 k 个符号, 每个符号由 m 比特组成。
 - ✧ 纠正 t 个符号错误的 RS 码参数如下:
 - ✧ 码长 $n = 2^m - 1$ 符号, 或 $m(2^m - 1)$ 比特
 - ✧ 信息段 k 符号, 或 km 比特
 - ✧ 监督段 $n - k = 2t$ 符号, 或 $m(n - k)$ 比特
 - ✧ 最小码距 $d = 2t + 1$ 符号, 或 $m(2t + 1)$ 比特

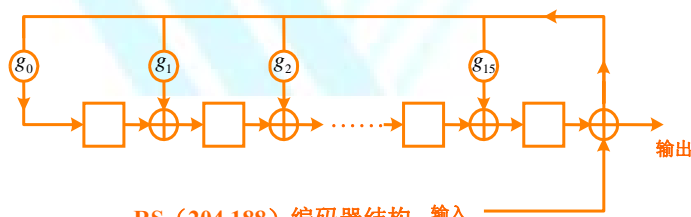
DVB-S 回顾: FEC 外码 (RS 码)

- DVB-S 采用了 RS (204,188)
- ✧ RS (204,188) 是由 RS (255,239) 截短得到。
- ✧ RS (204,188) 监督段长 16 字节, 可以纠正一个 RS 包中 8 个字节的错误。
- ✧ RS(204,188) 编码器的码字生成多项式:

$$g(D) = (D + \alpha^0)(D + \alpha^1) \cdots (D + \alpha^{15}) \quad \alpha = 02_{\text{Hex}}$$

✧ 域生成多项式:

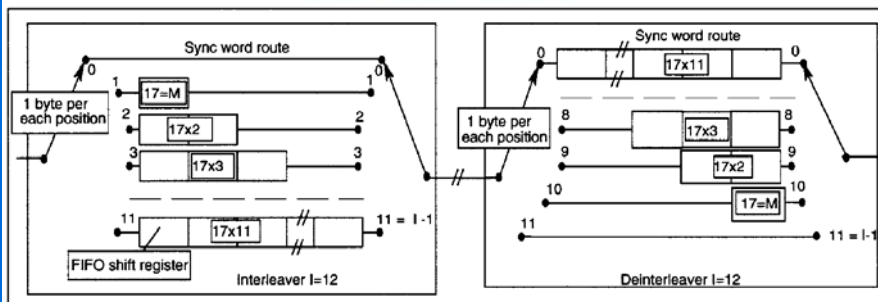
$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$



RS (204,188) 编码器结构 输入

DVB-S 回顾： FEC 交织

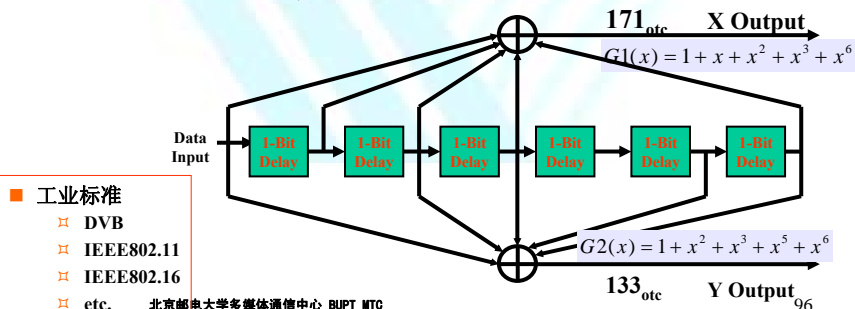
■ DVB-S 采用了卷积交织



DVB-S 回顾： FEC 内码 (卷积码)

■ DVB-S 纠错内码采用了卷积码

- ✧ 卷积码由编码速率 $R=k/n$ 和约束长度 N 描述，记做 (n, k, N) 。
- ✧ 对 k -bit 输入数据块进行运算 (k 通常较小，例 1, 2 or 3)。
- ✧ n -bit 输出是当前输入块与以前 $(N-1)$ 个输入块的加权求和， N 一般小于 9。
- ✧ 卷积码也是把 k 个信息比特编成 n 个比特，但 k 和 n 通常很小，特别适用于以串行形式传输的信息，延时小。
- ✧ 卷积码没有固定的码字长度。
- ✧ 译码采用 Viterbi Algorithm —— 最优的最大似然 (Maximum Likelihood, ML) 译码。



■ 工业标准

- ✧ DVB
- ✧ IEEE802.11
- ✧ IEEE802.16
- ✧ etc.

DVB-S 回顾: FEC 内码 (卷积码)

■ 凿孔码 Puncturing Codes

按凿孔 (Puncturing) 图从母码 (例如前面的 1/2 码率卷积码编码) 产生的输出 X 和 Y 中选择最终的码字, 达到删余增信的目的, 提高编码效率, 但这样降低了凿孔码的纠错能力。

Code Rates r	Puncturing pattern	Transmitted sequence (after parallel-to-serial conversion)
1/2	X: 1 Y: 1	$X_1 Y_1$
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	$X_1 Y_1 Y_2$
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3$
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5$
7/8	X: 1 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 X_5 Y_6 X_7$

1—保留 0—删除

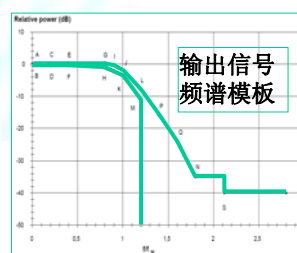
DVB-S 回顾: 基带成形滤波

■ DVB-S 采用了平方根升余弦滤波器 (SRRC), 滚降系数 α 为 0.35。

■ 基带 SRRC 滤波器具有如下定义的理论函数:

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

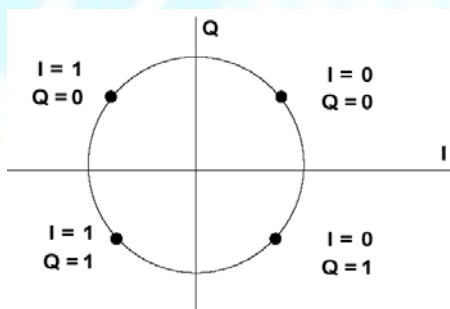
其中, $f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$ 是 Nyquist Freq.



DVB-S 回顾： 调制信号

- 基带成形滤波后的同相分量 I 和正交分量 Q 分别乘以 $\sin(2\pi f_0 t)$ 和 $\cos(2\pi f_0 t)$ ，相加后得到正交调制信号 $s(t)$ ：

$$s(t) = \underbrace{A(t) \cos \phi(t) \cos \omega_c t}_{\text{in-phase 同相}} - \underbrace{A(t) \sin \phi(t) \sin \omega_c t}_{\text{Quadrature 正交}}$$



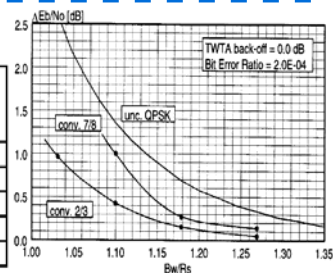
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

99

DVB-S 回顾： 性能

- E_b/N_0 性能

Inner code rate	Required E_b/N_0 for BER = 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Solomon
1/2	4.5
2/3	5.0
3/4	5.5
5/6	6.0
7/8	6.4



- 随着发展，DVB-S 已经不适应要求了：

- 新的业务导致了吞吐量的增长
 - HDTV、VOD、交互业务、本地业务等
- 数字信号处理技术的快速发展，特别是上世纪九十年代纠错编码技术的突破（Turbo 码的发明），提供了技术上的强大保证。
- 新的卫星技术能提供更高的 C/N ，除了 QPSK 调制，需要新的调制方式，以便有效地利用更大功率的卫星或点波束的卫星。

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

100

报告提纲

从信源到信道

—— 视频和MPEGx、信道和DMB-T、DVB-S2



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

101

DVB-S2 是什么？

- **DVB-S2** 是指“第二代卫星数字视频广播”系统，是 DVB-S 的后续发展；欧洲 ETSI 代号为 EM 302 307；
- **DVB-S2 发展历程**
 - ✧ 2002年早期成立 DVB-S2 研究组
 - ✧ 2002年11月第一、二轮竞争：Comtech、Connexant、European Space Agency、**HNS**、Philips、Spacebridge、ST、Turbo Concept 等 8 家公司参与，“Turbo”系列方案（并行/串行 Turbo 卷积码 + RS、Turbo 乘积码、LDPC），
 - ✧ 2003年1月第三、四轮竞争，选择休斯公司 HNS LDPC 系统作为 baseline。
 - ✧ 2003年 2月征集接收机方案
 - ✧ 2003年 5月休斯研发成功了 FPGA 版本的 DVB-S2 LDPC 演示
 - ✧ 2003年 6月休斯提交了 DVB-S2 帧同步和载波相位同步方案
 - ✧ 2003年 11月发布 DVB-S2 标准草案
 - ✧ **2004年 1月颁布了 DVB-S2 最终标准。**



Mustafa Eroz



Sun FengWen



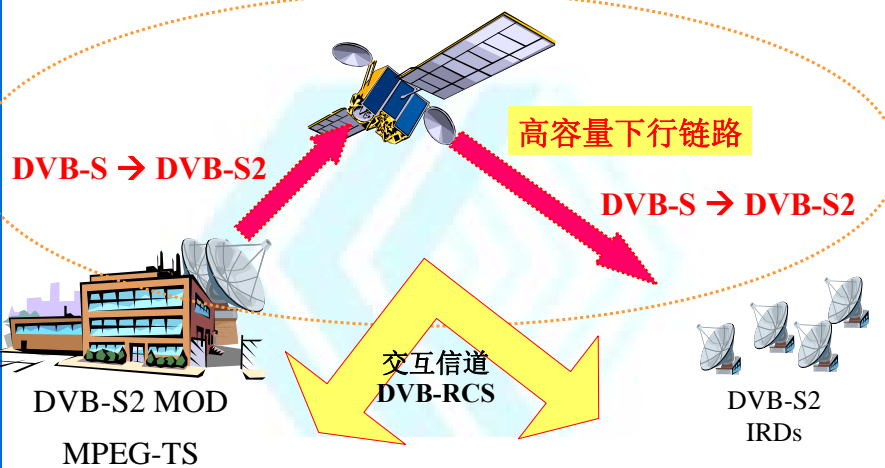
Lee LinNan



Jiang Yimin⁰²

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

DVB-S2 所处位置



报告提纲

从信源到信道

—— 视频和 MPEGx、信道和 DMB-T、DVB-S2

POINT TO POINT for connecting Base Stations and feeding Cells

前言

- 信源编码技术
- 信道编码和调制技术
- DVB-S2 技术

□ DVB-S 回顾

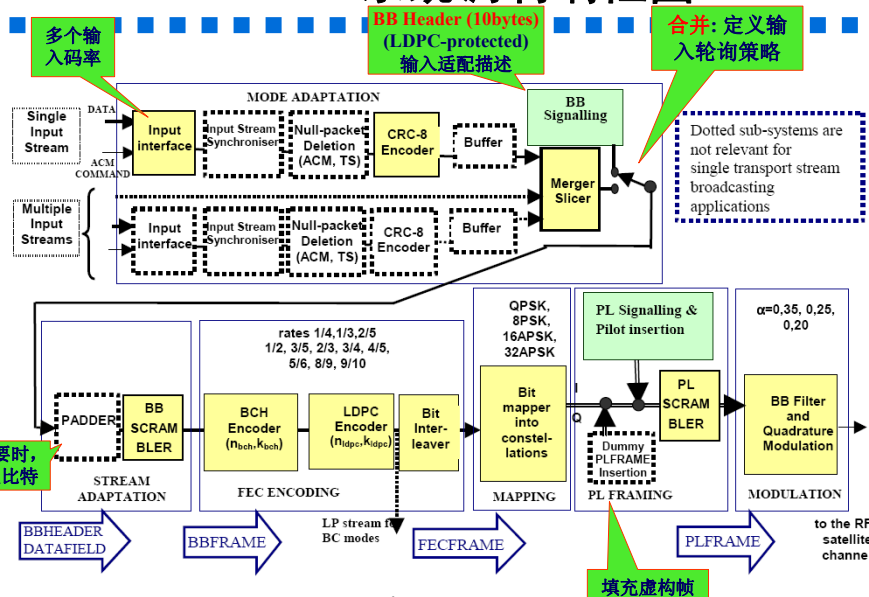
□ DVB-S2 是什么？

□ DVB-S2 物理层技术元素

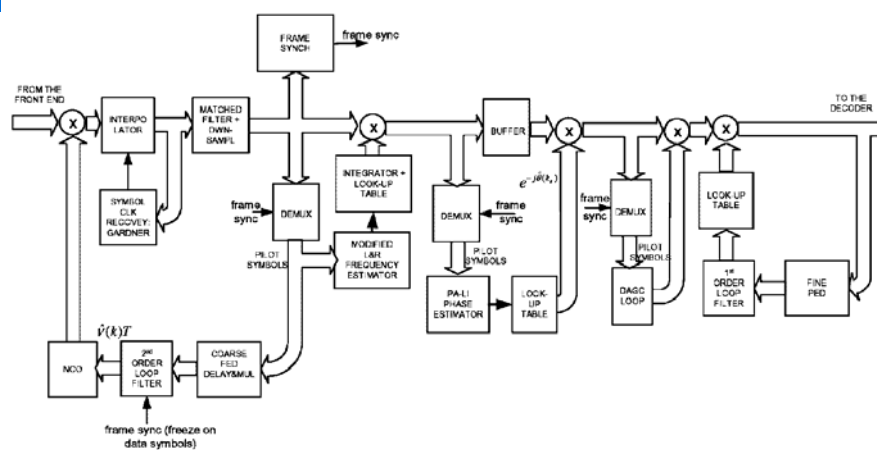
□ DVB-S2 应用举例

- 模式适配
- 码流适配
- FEC 编码
- 调制映射
- 物理层成帧
- SRRC 滤波和正交调制

DVB-S2 系统调制端框图



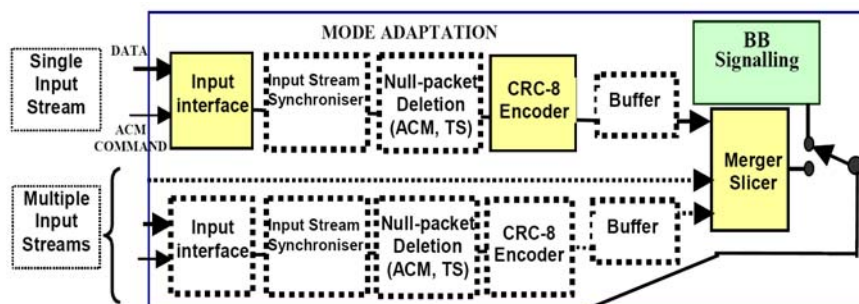
DVB-S2 系统解调端框图



DVB-S2 系统开销

■ BCH 外码	0.6%
■ DVB-S2 物理层 Header	
✧ QPSK	0.3%
✧ 8PSK	0.4%
✧ 16APSK	0.4%
■ 同步开销	
✧ 8PSK 2/3 或 3/5	2.2%
✧ 16APSK $\frac{3}{4}$ 码率	2.2%
■ 总开销	
✧ 没有同步开销的模式	1.0%
✧ 有同步开销的模式	3.2%
■ 有用的吞吐:	97~99%

DVB-S2 模式适配



■ DVB-S2 模式适配 (Mode Adaptation)

- ✧ 输入接口;
- ✧ 输入码流同步;
- ✧ 空包 (Null-packet, NP) 删除;
- ✧ CRC-8 编码器
- ✧ 缓存 Buffer
- ✧ 合并/分割 (Merger/Slicer)
- ✧ 基带 (BaseBand, BB) 信令

DVB-S2 模式适配：透明的输入接口

- DVB-S2 可以传输单个或多个码流：
 - MPEG-TS format
 - Generic format (分包的或连续的，例如 IP, ..)
- 适用于 MPEG-2 DTV 和 HDTV，以及新的编码方案 (例如 H264/AVC, WM9, AVS)
- 每个码流可以采用不同的保护方法

Location	Interface	Interface type	Connection	Multiplicity
Transmit station	Input	MPEG [1, 4] Transport Stream (see note 1)	from MPEG multiplexer	Single or multiple
Transmit station	Input (see note 2)	Generic Stream	From data sources	Single or multiple
Transmit station	Input (see note 3)	ACM command	From rate control unit	Single
Transmit station	Output	70/140 MHz IF, L-band IF, RF (see note 4)	to RF devices	Single or multiple

NOTE 1: For interoperability reasons, the Asynchronous Serial Interface (ASI) with 8B/6B bytes format, or burst mode (bytes regularly spread over time) is recommended.

NOTE 2: For data services.

NOTE 3: For ACM only. Allows external setting of the ACM transmission mode.

NOTE 4: IF shall be higher than twice the symbol rate.

DVB-S2模式适配：输入码流码率适配

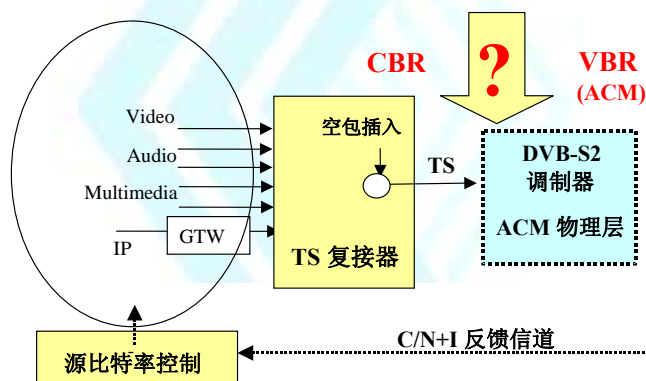
- 输入是恒码率的 MPEG TS，传输是变码率的 ACM 调制，但到接收端要恢复 TS 流。
- MPEG TS 条件
 - 恒定 TS 比特率 → 但 ACM 是变比特率!!
 - 恒定的端到端延时
- 为了把恒码率 (CBR) 的 TS 流映射到变码流 (VBR) 物理层，采取的措施：
 - 空包删除 → 比特率恒定
 - 输入码率同步 → 时延恒定



DVB-S2模式适配： 输入码流空包删除

- 即使业务比特率是可变的（由 ACM 反馈系统控制），但 TS 比特率总是恒定的，因为：

✧ 传统的 TS 复用器添加了空包（null-packet, PID=8191_D）.....



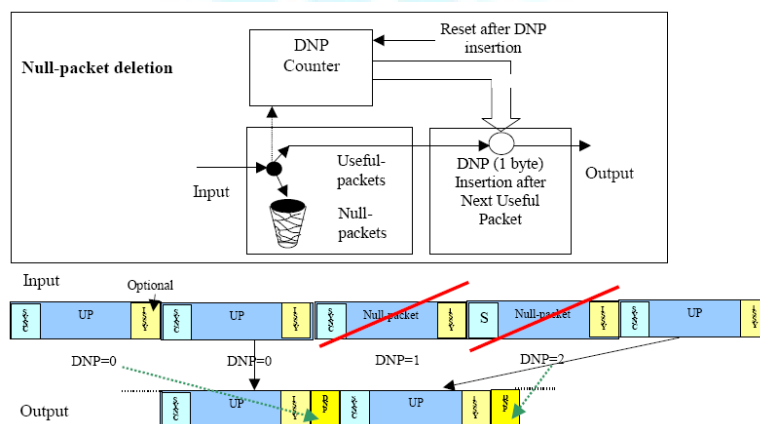
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

111

DVB-S2模式适配： 输入码流空包删除

- 把 CBR TS 流映射到 VBR 物理层：

- ✧ 在调制器端删除 null-packet (NP)
- ✧ 在解调器端在完全相同位置重新插入 null-packet.....
- ✧ MPEG TS 时间标签 (PCR) 不需要 update!

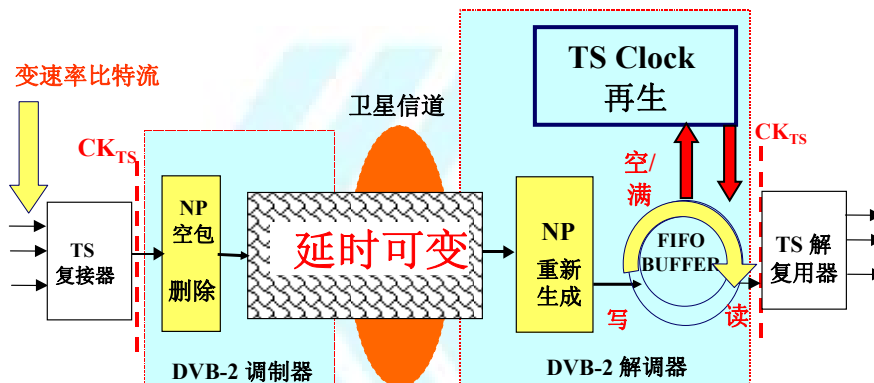


北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

112

DVB-S2模式适配： 输入码流同步

○ 如果没有输入码流同步处理 ...



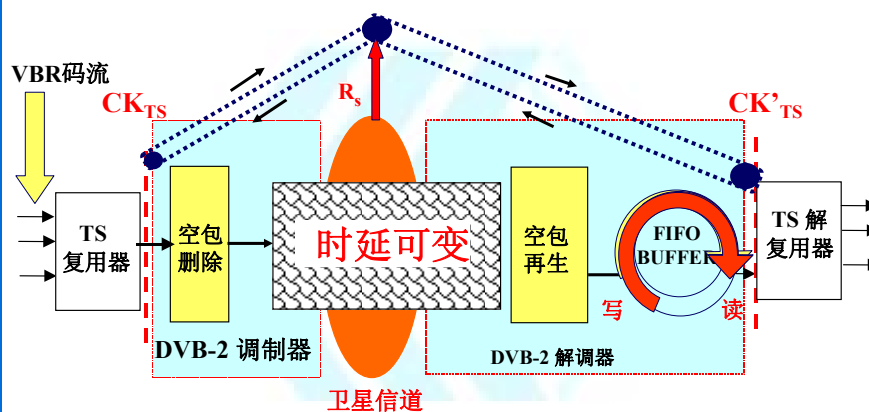
- 接收机通过 PLL 保持 FIFO 缓存器处于空/满的中间状态，从而恢复 TS 时钟。
- ...因此，按着定义，在稳态时，FIFO 缓存不能吸收时延的变化，MPEG TS 时延恒定的条件不能得到满足。

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

113

DVB-S2模式适配： 输入码流同步

○ 输入码流直接锁定 (lock) TX 和 RX 时钟。



- 在这种情况下，在稳态和瞬态，FIFO 缓存能够吸收时延和比特码率的变化。
- MPEG TS 条件得到满足!

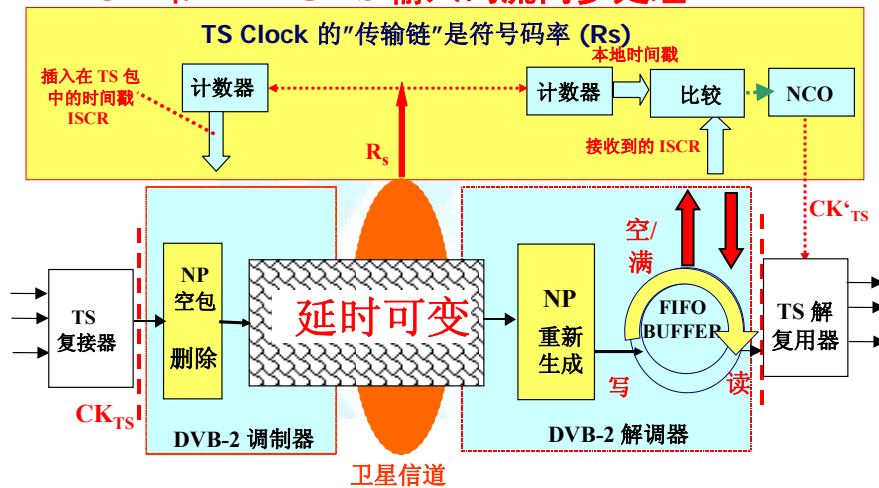
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

$$R_s = \text{符号率}$$

114

DVB-S2模式适配：输入码流同步

○ ACM 和 MPEG TS 输入码流同步处理



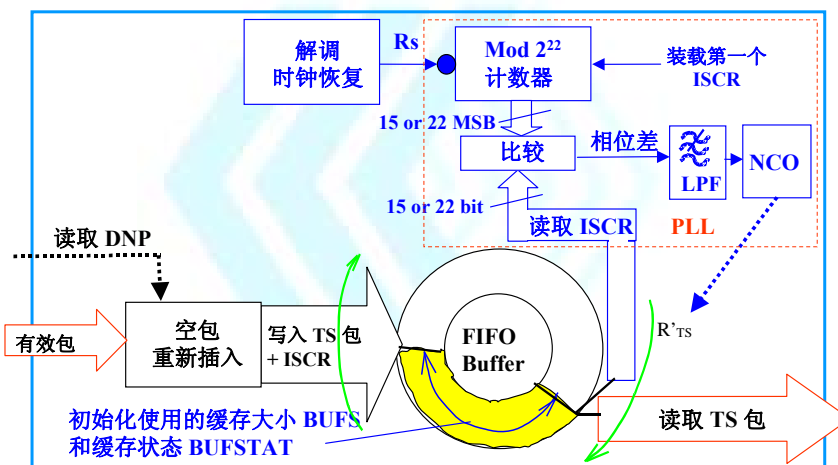
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

115

DVB-S2模式适配：输入码流同步

○ 输入码流同步在接收端的处理

接收机 FIFO buffer “吸收” 传输链路中动态时延变化。



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

116

DVB-S2模式适配：CRC-8 编码器 (只对包码流)

- 如果 $UPL=0_p$ (连续通用码流), 输入码流没有改变, 直接跳过 CRC-8 编码器。
- 如果 $UPL \neq 0_p$, 输入码流是长度为 UPL bit 的序列, UP 有用部分(不包括同步byte)将进行 8bit CRC系统码编码。
- CRC-8 生成多项式:**

$$g(X) = (X^5 + X^4 + X^3 + X^2 + X + 1)(X^2 + X + 1)(X + 1) \\ = X^8 + X^7 + X^6 + X^4 + X^2 + 1$$

- CRC 编码输出为:**

$$CRC = remainder[X^8 u(X) : g(X)]$$

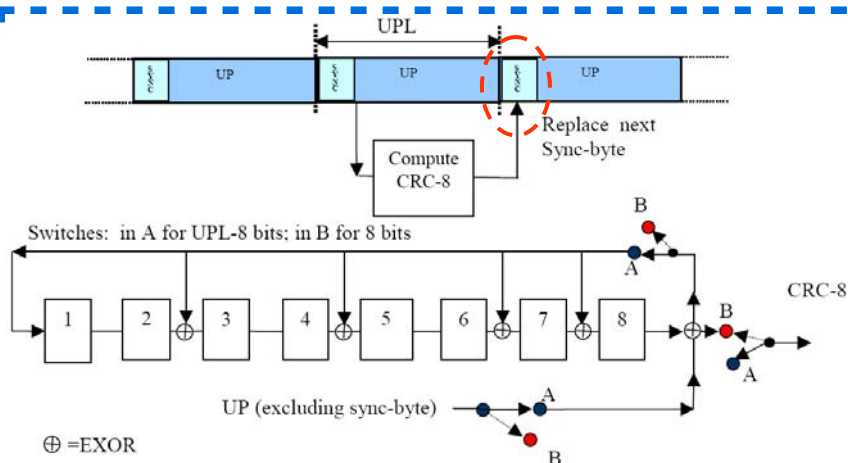
其中 $u(X)$ 是输入序列 ($UPL-8bit$)。

$UPL=$ User Packet Length, $UP=$ User Packet

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

117

DVB-S2模式适配：CRC-8 实现框图



- CRC 通过移位寄存器实现, 在每个序列的第一个比特输入电路之前, 所有的寄存器初始化为0。
- 计算得到的 CRC-8 码字将代替随后 UP 的同步字, 而此同步字将 Copy 到 BBHeader 的 SYNC 域, 用于传输。

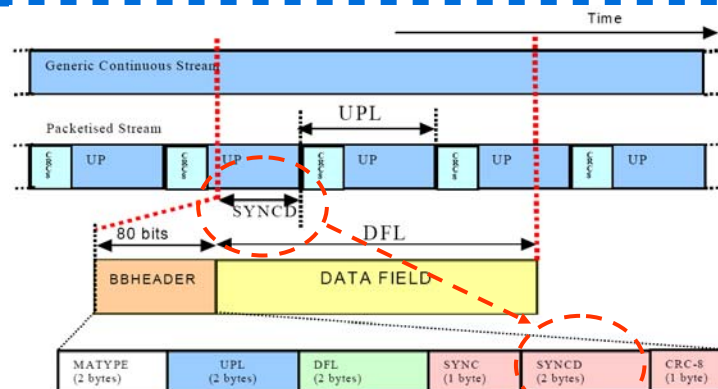
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

118

DVB-S2模式适配：合并/分割 Merger/Slicer

- 输入码流是通用连续或打包码流，在 Merger/Slicer 读取它们之前，输入码流应该缓存。
- Slicer 将从它的输入（单个或多个之一）读取一段数据组成长度为 DFL(Data Field Length) bit的 DataField 域。
 - $K_{bch} - (10 \times 8) \geq DFL \geq 0$
 - K_{bch} 见下表 5, $(8 \times 10) = 80\text{bit}$ 表示 BBHeader, 见后描述。
- Merger 将拼接成单一的一个输出，不同的数据域从它的输入码流中读取和分割数据。对于单个码流，只存在分割 (Slicer) 功能块。
- DataField 把组织来自单一输入端口的比特，并按着相同的传输模式（FEC 和调制）进行传输。Merger/Slicer 优先原则依赖于应用和遵循 DVB-S2 标准所描述的策略。
- 依赖于应用，Merger/Slicer 分配比特数：
 - 输入比特数等于 DataField 最大容量 ($DFL = K_{bch} - 80 \text{ bit}$)，则分割的 UP 放在随后的 DataField 域；
 - DataField中分配整数个 Ups，则在上述要求的边界内 DFL 是可变的。
- 当 Merger/Slicer 请求，而 DataField 无效时，物理层成帧模块将产生和传输一个虚构物理帧 (Dummy PLFrame)。

DVB-S2模式适配：合并/分割 Merger/Slicer



- 前述 CRC-8 代替同步字后，必须为接收机提供一个方法来恢复 UP 同步 (当接收机已实现 DataField 域同步时)。
 - Merger/Slicer 计算 DataField 开始到第一个完整 UP 开始 (CRC-8 的第一个比特)的比特数；
 - 存储在 BBHeader 的 SYNCNCD域 (Sync Distance)。
 - $SYNCNCD=0_D$ ，表示第一个 UP 与 DataField 对齐。

DVB-S2模式适配: BaseBand Header

■ **BBHeader** 位于 **DataField** 域之前, 具有固定长度 $80\text{bit} = 10\text{byte} \times 8$ 。

- **MATYPE-1** 描述了输入码流格式, 模式适配类型和滚降系数, 见表 3。MATYPE-2 为多个输入码流的指示, 否则保留。
- 其它 **BBHeader** 比特描述了 **UPL**、**DFL**、**SYNC**、**SYNCD** 和 **CRC-8** 等系统信息, 见表 4。

连续/分包码流 单个/多个输入码流 恒定/自适应编码和调制 输入同步指示 空包删除 滚降

TS/GS	SIS/MIS	CCM/ACM	ISSYI	NPD	RO
11 = Transport	1 = single	1 = CCM	1 = active	1 = active	00 = 0,35
00 = Generic Packetized	0 = multiple	0 = ACM	0 = not-active	0 = not-active	01 = 0,25
01 = Generic continuous					10 = 0,20
10 = reserved					11 = reserved

Table 4: BBHeader (Mode Adaptation characteristics) and Slicing Policy for Single Transport Stream Broadcast services

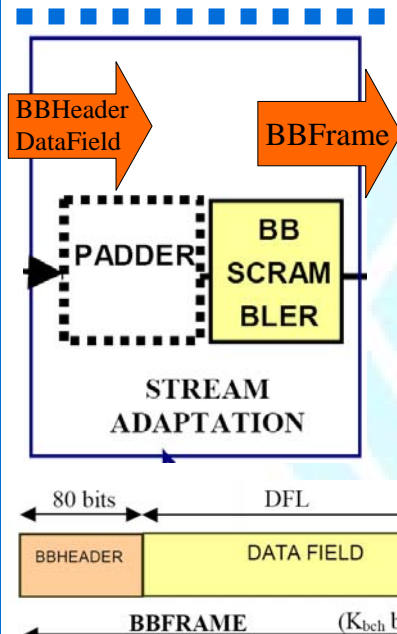
Application area/configuration	MATYPE-1	MATYPE-2	UPL	DFL	SYNC	SYNCD	CRC-8	Slicing policy
Broadcasting services / SCM, single TS	11-1-1-0-0-Y	XXXXXXXX	188 _D x8 用户包长度	K _{bch} -80 _D 数据域长度	47 _{HEX} 同步字	Y 同步距离	Y 纠错	Break No timeout No Padding No Dummy frame

X = not defined; Y = according to configuration/computation.
Break = break packets in subsequent DATAFIELDs; Timeout: maximum delay in merger/slicer buffer.

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

121

DVB-S2 码流适配

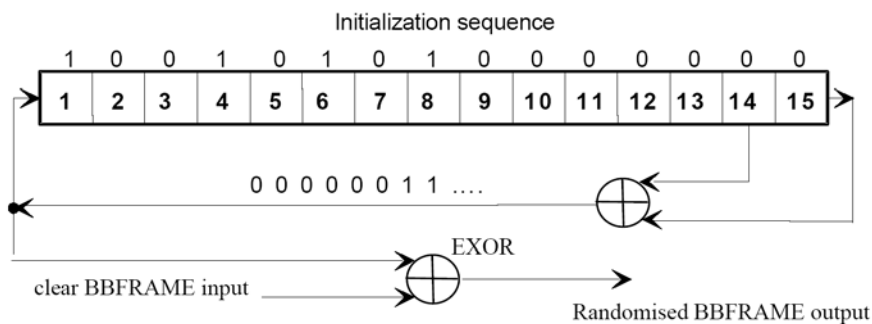


- 输入是 **BBHeader** 和随后的 **DataField** 域, 输出码流为 **BBFrame**。
- 码流适配模块通过填充 (**Padding**) 构建恒定长度 (K_{bch} bit) 的 **BBFrame**, 然后进行扰乱。
- 当传输的有效用户数据不能填满完整的 **BBFrame** 时, 或当整数 **UP** 分配给了 **BBFrame** 时, 可能需要填充 (补“0”) 处理。
- 对于广播业务应用, 没有填充。

BBFrame
格式

122

DVB-S2 码流适配：BB 扰乱



- 完整的 BBFrame 进行随机化处理，随机序列应与 BBFrame 同步，从 MSB 开始， K_{bch} bit 后结束。
- 扰乱序列采用反馈移位寄存器生成：
 - PRBS 生成多项式为： $1 + X^{14} + X^{15}$
 - 在每个 BBFrame 起始处，PRBS 寄存器初始化序列为 **100101010000000**。

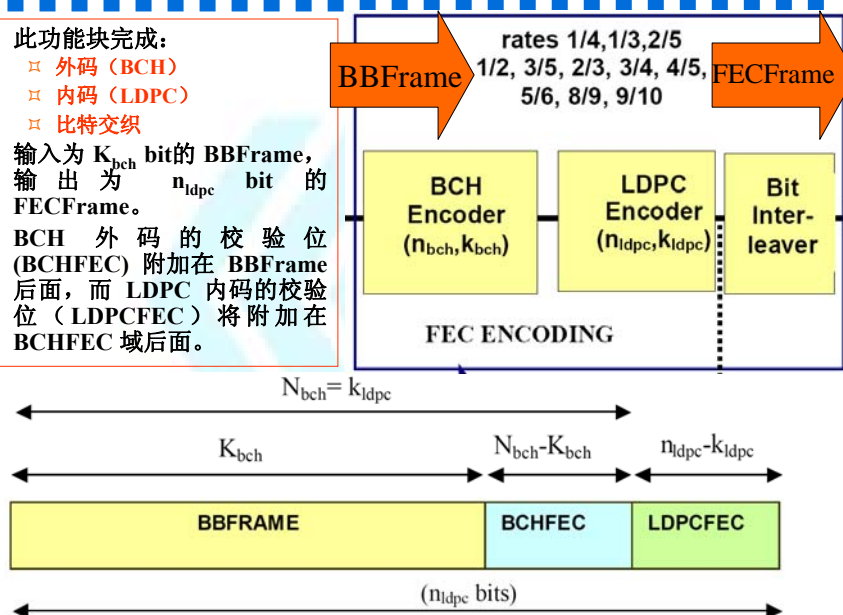
DVB-S2 FEC 编码

- 此功能块完成：

- 外码 (BCH)
- 内码 (LDPC)
- 比特交织

- 输入为 K_{bch} bit 的 BBFrame，输出为 n_{ldpc} bit 的 FECFrame。

- BCH 外码的校验位 (BCHFEC) 附加在 BBFrame 后面，而 LDPC 内码的校验位 (LDPCFEC) 将附加在 BCHFEC 域后面。



DVB-S2 FEC 编码：编码参数

正常 FECFrame ($n_{ldpc}=64800\text{bits}$)

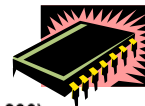


Table 5a: coding parameters (for normal FECFRAME $n_{ldpc} = 64\ 800$)

LDPC code	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block k_{ldpc}	BCH t-error correction	LDPC Coded Block n_{ldpc}
1/4	16 008	16 200	12	64 800
1/3	21 408	21 600	12	64 800
2/5	25 728	25 920	12	64 800
1/2	32 208	32 400	12	64 800
3/5	38 688	38 880	12	64 800
2/3	43 040	43 200	10	64 800
3/4	48 408	48 600	12	64 800
4/5	51 648	51 840	12	64 800
5/6	53 840	54 000	10	64 800
8/9	57 472	57 600	8	64 800
9/10	58 192	58 320	8	64 800

DVB-S2 FEC 编码：编码参数

短小 FECFrame ($n_{ldpc}=16200\text{bits}$)

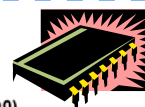


Table 5b: coding parameters (for short FECFRAME $n_{ldpc} = 16\ 200$)

LDPC Code identifier	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block k_{ldpc}	BCH t-error correction	Effective LDPC Rate $k_{ldpc}/16\ 200$	LDPC Coded Block n_{ldpc}
1/4	3 072	3 240	12	1/5	16 200
1/3	5 232	5 400	12	1/3	16 200
2/5	6 312	6 480	12	2/5	16 200
1/2	7 032	7 200	12	4/9	16 200
3/5	9 552	9 720	12	3/5	16 200
2/3	10 632	10 800	12	2/3	16 200
3/4	11 712	11 880	12	11/15	16 200
4/5	12 432	12 600	12	7/9	16 200
5/6	13 152	13 320	12	37/45	16 200
8/9	14 232	14 400	12	8/9	16 200
9/10	NA	NA	NA	NA	NA

DVB-S2 FEC 编码：外码 BCH

- 纠 t 个错误的 BCH 编码器的生成多项式是通过把下表中的前 t 个多项式相乘而得到的。
- BCH 编码参数如下表所示。

Table 6a: BCH polynomials (for normal FECFRAME $n_{ldpc} = 64\ 800$)

$g_1(x)$	$1+x^2+x^3+x^5+x^{16}$
$g_2(x)$	$1+x+x^4+x^5+x^6+x^8+x^{16}$
$g_3(x)$	$1+x^2+x^3+x^4+x^5+x^7+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{16}$
$g_4(x)$	$1+x^2+x^4+x^6+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{14}+x^{16}$
$g_5(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^5+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{12}+x^{16}$
$g_6(x)$	$1+x^2+x^4+x^5+x^7+x^8+x^9+x^{10}+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{15}+x^{16}$
$g_7(x)$	$1+x^2+x^5+x^6+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{13}+x^{15}+x^{16}$
$g_8(x)$	$1+x+x^2+x^5+x^6+x^8+x^9+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{16}$
$g_9(x)$	$1+x^5+x^7+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{16}$
$g_{10}(x)$	$1+x+x^2+x^5+x^7+x^8+x^{10}+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1+x^2+x^3+x^5+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{13}+x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1+x+x^5+x^6+x^7+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{16}$

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

127

DVB-S2 FEC 编码：外码 BCH

Table 6b: BCH polynomials (for short FECFRAME $n_{ldpc} = 16\ 200$)

$g_1(x)$	$1+x+x^3+x^5+x^{14}$
$g_2(x)$	$1+x^6+x^8+x^{11}+x^{14}$
$g_3(x)$	$1+x+x^2+x^6+x^9+x^{10}+x^{14}$
$g_4(x)$	$1+x^4+x^7+x^8+x^{10}+x^{12}+x^{14}$
$g_5(x)$	$1+x^2+x^4+x^6+x^8+x^9+x^{11}+x^{13}+x^{14}$
$g_6(x)$	$1+x^3+x^7+x^8+x^9+x^{13}+x^{14}$
$g_7(x)$	$1+x^2+x^5+x^6+x^7+x^{10}+x^{11}+x^{13}+x^{14}$
$g_8(x)$	$1+x^5+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{14}$
$g_9(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^9+x^{10}+x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1+x^3+x^6+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{14}$
$g_{11}(x)$	$1+x^4+x^{11}+x^{12}+x^{14}$
$g_{12}(x)$	$1+x+x^2+x^3+x^5+x^6+x^7+x^8+x^{10}+x^{13}+x^{14}$

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

128

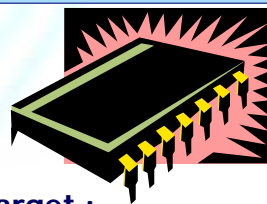
DVB-S2 FEC 编码：BCH + LDPC级联

LDPC 与 BCH 构成级联码

- ✧ BCH 外码：主要是抵抗 LDPC 在低 BER (10^{-2}) 时出现的误码平台(Error Floor)。

LDPC 编码参数见前面表 5:

- ✧ 码分组长度 64800 bit (或 16200 bit)
- ✧ 有效编码码率: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10

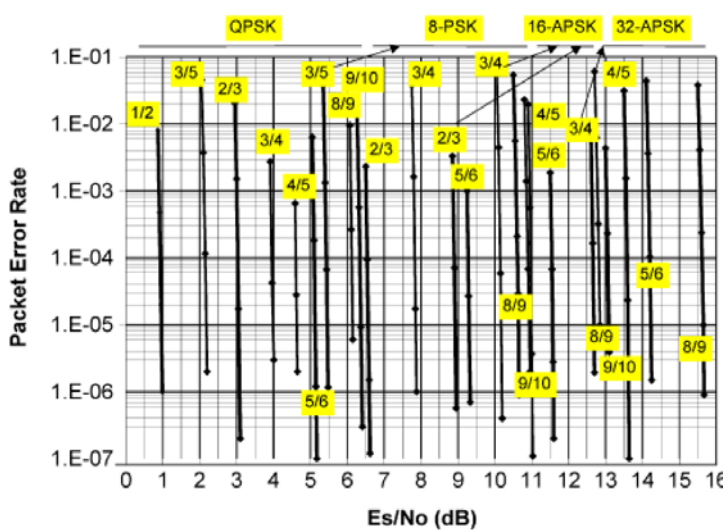


The receiving chip complexity target :

- < 10 mm² with today 0.09 μ m technology

DVB-S2 FEC 编码：BCH + LDPC级联

AWGN 信道下，不同星座图中各种码率 BCH+LDPC 的性能

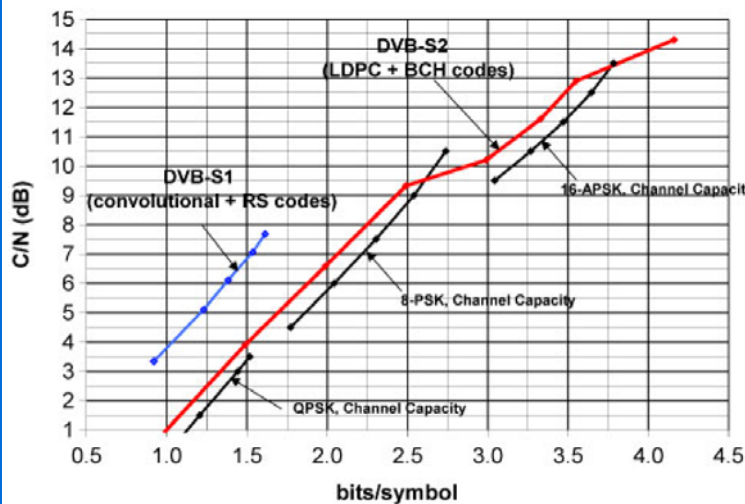


数据是 AWGN 信道中 QEF 下 (PER=10⁻⁷) 的计算机仿真结果，50 次 LDPC 定点解码迭代，理想的载波和同步恢复，无相位噪声，AWGN 信道，正常的 FEC frame 长度，没有导频。

真正直下的瀑布，非常接近 Shannon 信道容量

DVB-S2 FEC 编码：BCH + LDPC级联

■ BCH+LDPC 与 DVB-S1 和信道容量的比较



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

与 DVB-S1 卷积级联码相比，在相同的 C/N 下，DVB-S2 传输容量提高了 35% 以上。
在很宽的范围内，DVB-S2 的 LDPC 距离 Shannon 极限 0.6 dB 之内。
在未来十几年内，估计很难有其它技术替代它。

131

DVB-S2 FEC 编码：比特交织

- 交织（interleaving）就是一种将数据序列的顺序进行变换的一种处理方法。又可称为置换（permutation）。
- 目的：使突发误码随机化，便于随后的 FEC 纠错。
- 交织器的一般表示方法
 - 交织表： $j = T(i)$ ，表示输出序列的第 i 个符号取自输入序列的第 j 个符号。即当输入序列为 x_1, x_2, \dots ，输出序列为 y_1, y_2, \dots 时， $y_i = x_{T(i)}$ 。
- 交织器的三个参数
 - 交织延迟
 - 交织前相邻的符号在交织后的最小距离称为交织深度，交织深度应不小于信道上可能的突发错长度，否则解交织后仍可能存在一定的突发错误。
 - 交织后相邻的符号在交织前的最小距离称为交织宽度，交织宽度应不小于编码的约束长度，或相应的参数，否则突发误码仍不能彻底打散。
- 每种调制模式的块交织深度和宽度见表 8 所示。

Table 8: Bit Interleaver structure

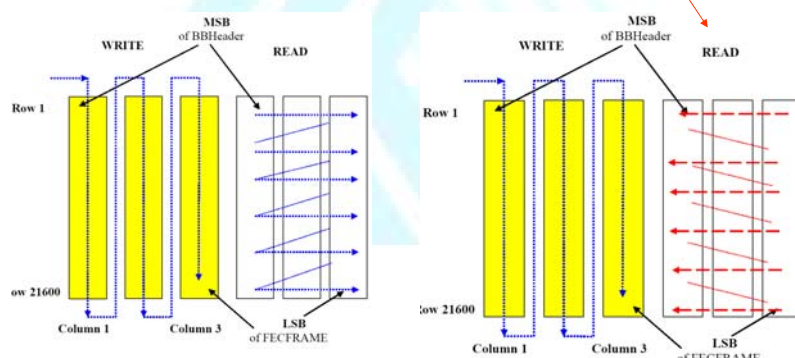
Modulation	Rows (for $n_{ldpc} = 64\ 800$)	Rows (for $n_{ldpc} = 16\ 200$)	Columns
8PSK	21 600	5 400	3
16APSK	16 200	4 050	4
32APSK	12 960	3 240	5

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

132

DVB-S2 FEC 编码：比特交织

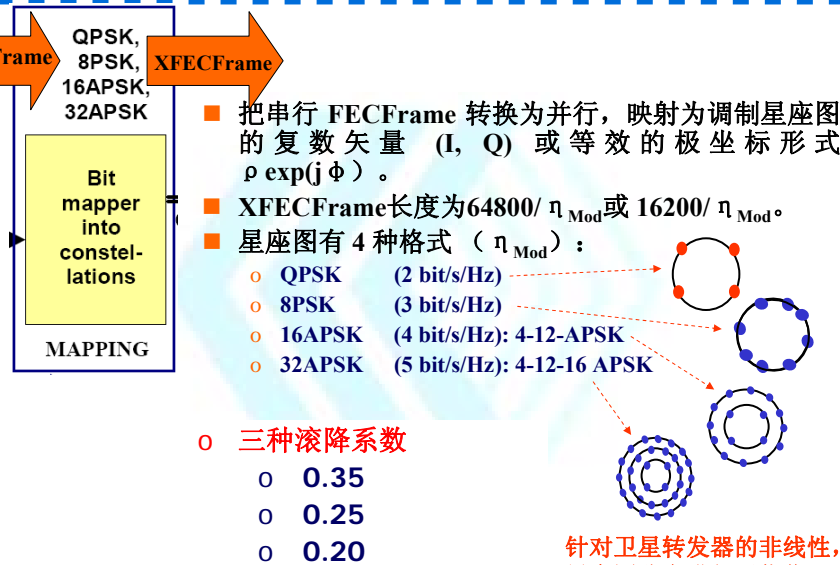
- 此功能块只对 8PSK、16APSK 和 32APSK 调制模式。
- DVB-S2 FEC 比特交织采用了传统的块交织，数据按列方向串行写入交织器，然后按行方向串行读出（BBHeader 的 MSB 首先读出，除了 8PSK 3/5 码率时 BBHeader 的 MSB 是第三个读出。）



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

133

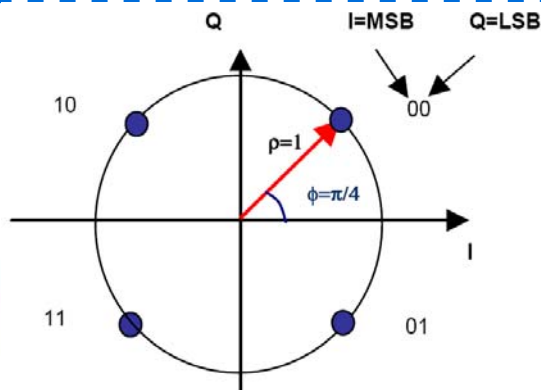
DVB-S2 调制



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

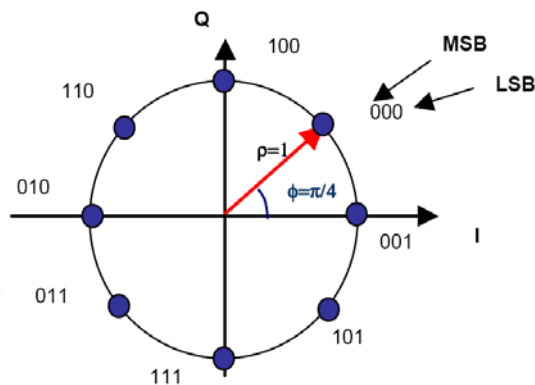
134

DVB-S2 调制：QPSK 星座图



- 对于 QPSK，采用传统的 Gray 码绝对映射（没有差分编码）。
- 每个符号的归一化平均功率等于 $\rho^2 = 1$ 。
- 两个 FECFrame 比特映射为 QPSK 符号，即第 $2i$ 和 $2i+1$ 比特映射为第 i 个 QPSK 符号，其中 $i=0,1,2,\dots,(N/2)-1$ ， N 为编码 LDPC 分组长度。

DVB-S2 调制：8PSK 星座图



- 对于 8PSK，采用传统的 Gray 码绝对映射（没有差分编码）。
- 每个符号的归一化平均功率等于 $\rho^2 = 1$ 。
- 除了 3/5 码率 FEC，FECFrame 的第 $3i$ 、 $3i+1$ 和 $3i+2$ 比特映射为第 i 个 8PSK 符号；而**对于 3/5 码率**，第 $3i+2$ 、 $3i+1$ 和 $3i$ 比特映射为第 i 个 8PSK 符号，其中 $i=0,1,\dots,(N/3)-1$ ， N 为编码 LDPC 分组长度。

DVB-S2 调制：M-APSK 星座图

- 调制信号在高功放（HPA）中工作在靠近饱和点，HPA 的非线性在信号中引入了相位和幅度失真。**卫星广播信道是典型的非线性信道。**
- 由于 **ASPK 的功率和频谱效率，以及它对非线性失真固有的抵抗性**，使得它在非线性卫星数字传输信道中成为了一个有吸引力的调制方案。由此，它成为 DVB-S2 标准的一部分。
- 卫星非线性信道调制方案的发展历程
 - 以最小欧氏距离最大化（误码性能）为优化准则：
 - ✦ 在此信道中，与 TC 16QPSK 或未编码的 8PSK 相比，**16QAM** 没有显出优势；
 - ✦ **30年前人们就提出了圆形 APSK 调制的概念**，并分析其非带限 APSK 的未编码 BER 特性，能清楚了它对非线性信道的适用性，但得出的接收是对于非线性信道上的单载波调制，APSK 性能不如 PSK 方案；
 - ✦ 在平均功率约束下，人们使用未编码误码率渐近线，对 **QAM 星座图进行了优化**，得到了优化的 16QAM 星座图，它由近似等边三角形的格子组成，但这个结果没有应用到卫星信道
 - ✦ 通过比较线性信道中的方形 QAM 和圆形 APSK 误码性能，表明 APSK 稍占优势；
 - 以互信息（信道容量）为优化准则：
 - ✦ 在平均和峰值功率约束下，人们研究了调制的互信息（信道容量），**证明了圆形 APSK 星座图的优势。**
 - ✦ 进一步研究了在峰值功率受限的高斯复信道中 APSK 的互信息性能损失，并与经典的 QAM 调整进行了比较，表明：**对于互信息，APSK 明显优于 QAM**，特别是 16 和 64 星座图。**在线性信道中，APSK 性能也几乎与 QAM 一样好。**

DVB-S2 调制：M-APSK 星座图

- **M-APSK 星座图由 n_R 个同心圆组成，每个圆上等间隔均匀分布 PSK 星座点，信号星座点 x 是复数，出自下列表达式：**

$$x = \begin{cases} r_1 e^{j(\frac{2\pi}{n_1}i + \theta_1)} & i = 0, \dots, n_1 - 1, \text{ (ring1)} \\ r_2 e^{j(\frac{2\pi}{n_2}i + \theta_2)} & i = 0, \dots, n_2 - 1, \text{ (ring2)} \\ \vdots & \\ r_{n_R} e^{j(\frac{2\pi}{n_R}i + \theta_R)} & i = 0, \dots, n_R - 1, \text{ (ring } n_R) \end{cases}$$

- n_k 、 r_k 和 θ_k 分别表示第 k 个圆的星座点数、半径和相对相移。
- 我们称这种 APSK 为 $n_1 + n_2 + \dots + n_{n_R}$ -APSK。
- 在 DVB-S2 中，采用了 $|x| = 4+12$ APSK， $|x| = 4+12+16$ APSK，分别有 $n_R=2$ 和 $n_R=3$ 个圆环。
- 通常调制信号 x 是归一化能量，即 $E[|x|^2]=1$ ，意味着半径 r_k 是归一化的，以便 $\sum_{k=1}^{n_R} n_k r_k^2 = 1$ 。

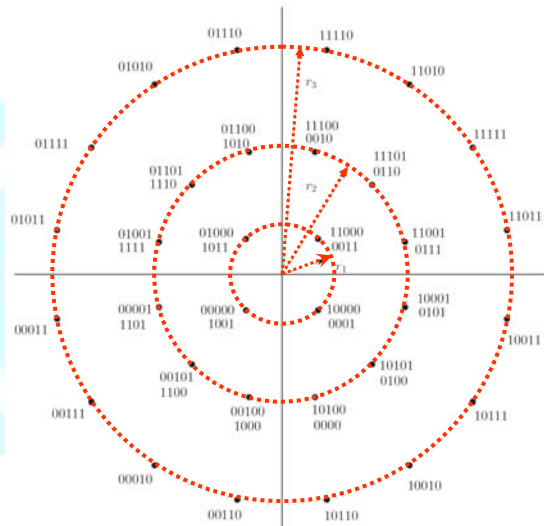
DVB-S2 调制：M-APSK 星座图

■ M-APSK 星座图设计的关键参数：

- ① 圆上的星座点数 n_k
- ② 圆半径 r_k
- ③ 星座点相对相移 θ_k

■ 定义

- ✧ $\phi_k = \theta_k - \theta_1$ 为第 k 个圆与内圆的相移。
- ✧ $\gamma_k = r_k/r_1$ 为 k 个圆的相对半径。



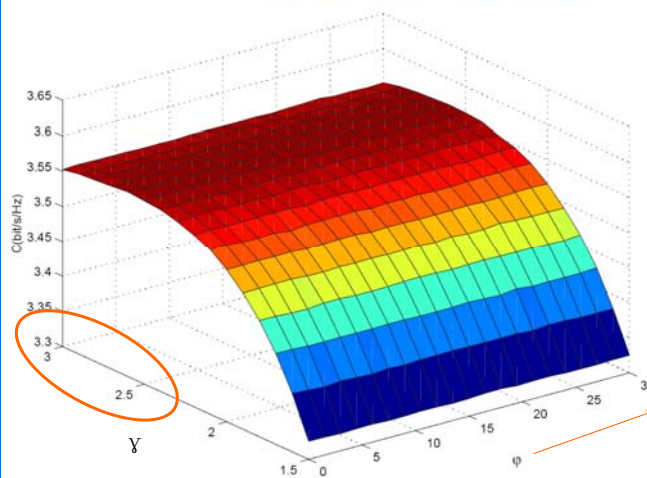
4+12 APSK 和 4+12+16 APSK 星座图

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

139

DVB-S2 调制：16APSK 星座图

■ 16APSK ($n_1=4, n_2=12$) 星座图的传输容量性能优化（相对半径和相移为参量， $E_s/N_0=12\text{dB}$ ）



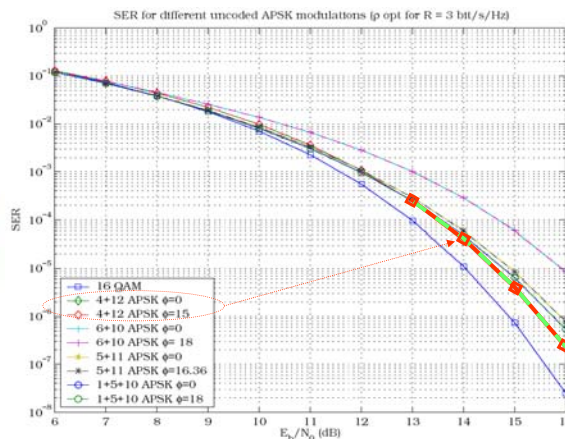
传输容量与相移 ϕ 无关，因此，最大信道容量的二维优化简化为只与相对半径 γ 为参量。这个结论对其它星座图也成立。

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

140

DVB-S2 调制：16APSK 星座图

16APSK $E_b/N_0 \sim \text{BER}$ 性能优化 (不同星座点数、不同相移)



- 最小相移 $\phi=0$ 和最大相移 $\phi=\pi/n_2$ 的曲线重合，表明在高 SNR 时相移 ϕ 没有显著影响。
- 对星座优化来讲，圆环半径比圆环上星座点数更起作用。

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

141

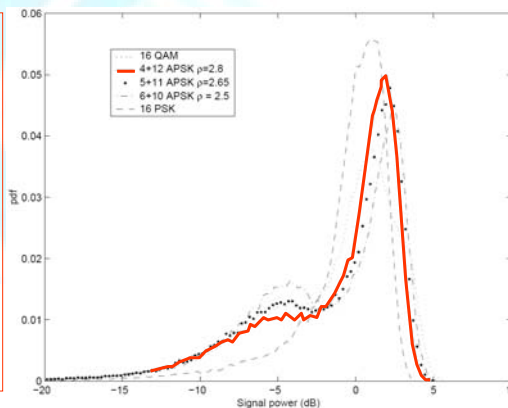
DVB-S2 调制：16APSK 星座图

非线性高功放（非线性传输信道），4+12 APSK 优于 6+10APSK。

- 外圆存在更多星座点，允许 HPA DC 功率转换效率最大；减少内圆星座点数更好，因为它在较低功率处发射，这对应着较低的 DC 效率。
- 众所周知，HPA 的功率转换效率是输入功率驱动的单调函数，直至饱和点。

右图显示了在 DVB-S2 参数下，各种 16APSK 的发射信号包络的分布。

- 4+12APSK 功率包络比 16QAM 和 6+10APSK 更集中，更接近于 16PSK；
- 4+12APSK 星座图是一个在 16QAM 和 16PSK 之间很好的折中，其误码性能接近 16QAM，抗非线性性能接近 16PSK。
- 4+12APSK 星座图比其它形式的 16APSK 具有更好的性能。
- 32APSK 与 32QAM 相比，32APSK 也具有类似的优势。



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

142

DVB-S2 调制：16APSK 星座图

最终 DVB-S2 标准：

- 16APSK是由 2 个同心圆构成，圆上星座点等间隔分布，各为 4 和 12，即 4+12APSK。
- 外圆和内圆半径之比 $\gamma = R_2/R_1$ ，见表9。
- 若 $4[R_1]^2 + 12[R_2]^2 = 16$ ，则平均信号功率为 1。
- FECFrame 的第 $4i$ 、 $4i+1$ 、 $4i+2$ 和 $4i+3$ 比特映射为第 i 个 16APSK 符号，其中 $i=0,1,2,\dots,(N/4)-1$ ， N 为编码 LDPC 分组长度。

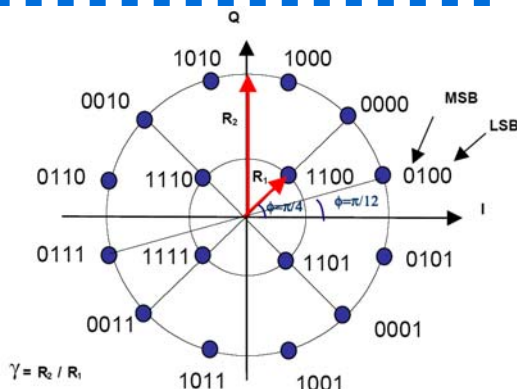


Table 9: optimum constellation radius ratio γ (linear channel) for 16APSK

Code rate	Modulation/coding spectral efficiency	γ
2/3	2.66	3.15
3/4	2.99	2.85
4/5	3.19	2.75
5/6	3.32	2.70
8/9	3.55	2.60
9/10	3.59	2.57

DVB-S2 调制：32APSK 星座图

- 32APSK是由 3 个同心圆构成，圆上星座点等间隔分布，各为 4、12 和 16。
- 3 个圆半径之比分别为 $\gamma_1 = R_2/R_1$ ， $\gamma_2 = R_3/R_1$ ，见表10。
- 若 $4[R_1]^2 + 12[R_2]^2 + 16[R_3]^2 = 32$ ，则平均信号功率为 1。
- FECFrame 的第 $5i$ 、 $5i+1$ 、 $5i+2$ 、 $5i+3$ 和 $5i+4$ 比特映射为第 i 个 32APSK 符号，其中 $i=0,1,2,\dots,(N/5)-1$ ， N 为编码 LDPC 分组长度。

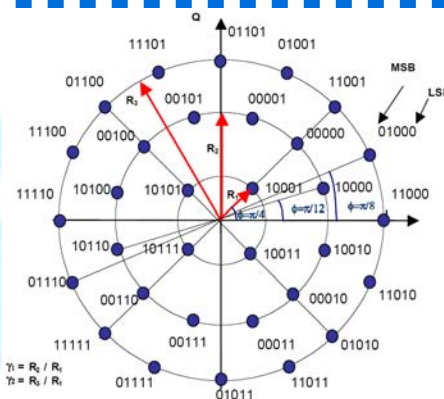


Table 10: optimum constellation radius ratios γ_1 and γ_2 (linear channel) for 32 APSK

Code rate	Modulation/coding spectral efficiency	γ_1	γ_2
3/4	3.74	2.84	5.27
4/5	3.99	2.72	4.87
5/6	4.15	2.64	4.64
8/9	4.43	2.54	4.33
9/10	4.49	2.53	4.30

DVB-S2 调制: E_s/N_0 性能

Table 13: E_s/N_0 performance at Quasi Error Free PER = 10^{-7} (AWGN channel)

Mode	Spectral efficiency	Ideal E_s/N_0 (dB) for FECFRAME length = 64 800
QPSK 1/4	0.490243	-2.35
QPSK 1/3	0.656448	-1.24
QPSK 2/5	0.789412	-0.30
QPSK 1/2	0.988858	1.00
QPSK 3/5	1.188304	2.23
QPSK 2/3	1.322253	3.10
QPSK 3/4	1.487473	4.03
QPSK 4/5	1.587196	4.68
QPSK 5/6	1.654663	5.18
QPSK 8/9	1.766451	6.20
QPSK 9/10	1.788612	6.42
8PSK 3/5	1.779991	5.50
8PSK 2/3	1.980636	6.62
8PSK 3/4	2.228124	7.91
8PSK 5/6	2.478562	9.35
8PSK 8/9	2.646012	10.69
8PSK 9/10	2.679207	10.98
16APSK 2/3	2.637201	8.97
16APSK 3/4	2.966728	10.21
16APSK 4/5	3.165623	11.03
16APSK 5/6	3.300184	11.61
16APSK 8/9	3.523143	12.89
16APSK 9/10	3.567342	13.13
32APSK 3/4	3.703295	12.73
32APSK 4/5	3.951571	13.64
32APSK 5/6	4.119540	14.28
32APSK 8/9	4.397854	15.69
32APSK 9/10	4.453027	16.05

NOTE: Given the system spectral efficiency η_{tot} the ratio between the energy per information bit and single-sided noise power spectral density
 $E_b/N_0 = E_s/N_0 \cdot 10 \log_{10}(\eta_{\text{tot}})$

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

■ E_s 为每个传输符号平均能量
数据是 AWGN 信道中 QEF 下的指标。

■ 理想 E_s/N_0 是计算机仿真结果, 50次 LDPC 定点解码迭代, 理想的载波和同步恢复, 无相位噪声, AWGN 信道, 正常的 FECFrame 长度, 没有导频。

■ 对于短时 FECFrame, 需考虑 0.2~0.3dB 的额外损耗。

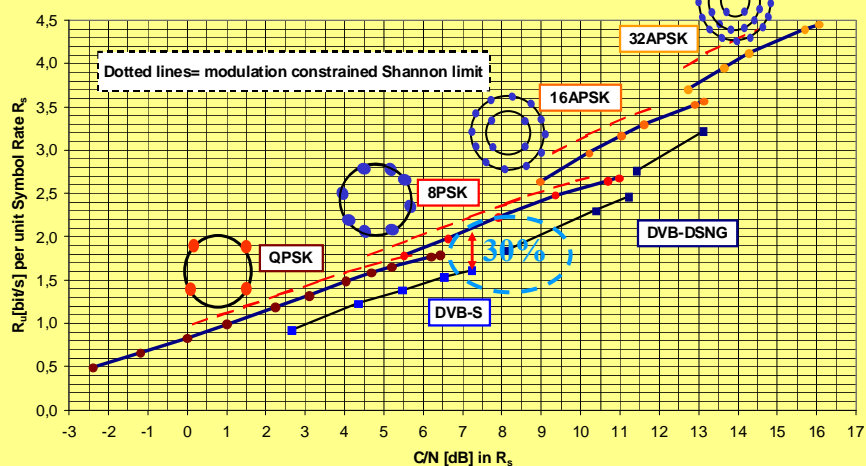
■ 对于链路预算, 需考虑相应的卫星信道损伤。

■ PER 是 FEC 后正确接收的有用 TS 包与错误 TS 包之比。

145

DVB-S2 调制: C/N 性能

Spectrum efficiency versus required C/N on AWGN channel



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

146

DVB-S2 调制：性能比较

○ DVB-S2 与 DVB-S 相比：

- 比特率 bit/s (相同的 C/N 和 符号率)：

➢ 25-35%，取决于模式和应用

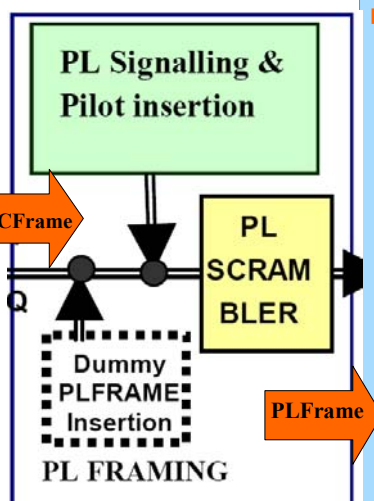
➢ 更大的灵活性，更好地匹配转发器特性：

- 频谱效率 0.5 ~ 4.5 bit/s/Hz
- C/N 范围 -2 ~ +16 dB (AWGN)



距离 Shanna 极限 0.7 ~ 1 dB 意味着：
“在我们的一生中，将不再需要
设计另外的卫星广播系统。”

DVB-S2 物理层成帧



■ 物理层成帧 (PLFrame) 过程如下：

- ① 当没有 XFECCFrame 准备好处理和传输时，产生虚构 PLFrame，它由 PLHeader 和 36 个的未调制载波 ($I=Q=1/\sqrt{2}$) 组成；
- ② XFECCFrame 分割为整数 S 个固定长度的 SLOTS，每个 SLOT 长度 M=90 符号，S 的数值遵循表 11；
- ③ 在 XFECCFrame 之前位置，生成和插入 PLHeader，用于接收机配置。PLHeader 将正好占据一个 SLOT；
- ④ (对于需要导频的模式) 每 16 个 SLOT 插入一次导频块，以帮助接收机同步。导频块由 P=36 个导频符号组成；
- ⑤ 在物理层扰流器中对 (I, Q) 调制符号进行随机化处理；

■ PLFraming 效率为： $\eta = 90S / [90(S+1) + P \text{int}\{(S-1)/16\}]$

其中，P = 36，S 为 Slot 数，int{.} 表示取整。

DVB-S2 物理层成帧

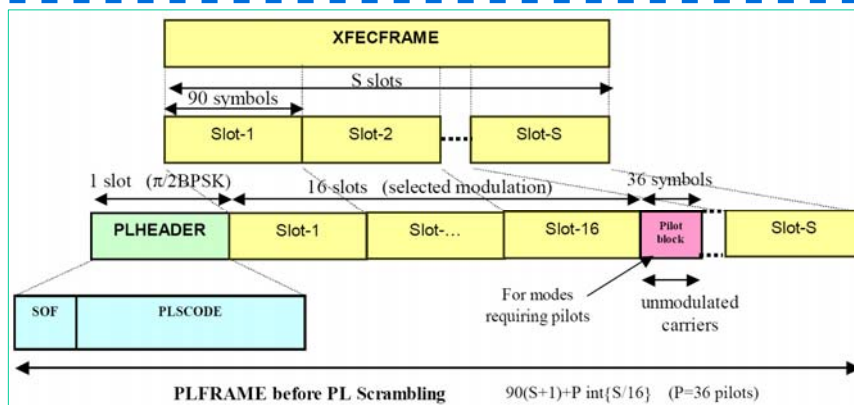


Table 11: S = number of SLOTS (M = 90 symbols) per XFECFRAME

η_{MOD} (bit/s/Hz)	$n_{ldpc} = 64\ 800$ (normal frame)		$n_{ldpc} = 16\ 200$ (short frame)	
	S	η % no-pilot	S	η % no-pilot
2	360	99,72	90	98,90
3	240	99,59	60	98,36
4	180	99,45	45	97,83
5	144	99,31	36	97,30

149

DVB-S2 物理层成帧：PLHeader 信令

■ **PLHeader** 用于接收机同步和物理层信令：XFECFrame 的编码和调制方案，PLFrame 长度和结构，导频符号的存在与否等信息。

■ **PLHeader** (90 个符号的一个 SLOT) 由下列信息域组成：

✧ **SOF (26 符号)**：指示帧开始 (Start of Frame)，SOF 序列为 1.8D.2E.82_{HEX}，对应的二进制为 01-1000-.....-0010，最左边比特为 PLHeader 的 MSB 位；

✧ **PLS 码 (64 符号)**：PLS (Physical Layer Signalling) 码是一个非系统的二进制纠错码 (64, 7)，最小距离 $d_{min}=32$ ，它等效于排列下的一阶 Reed-Muller 码，传输的 7 个符号由两个域构成：

✧ **MODCOD (5 符号)**：指示 XFECFRAME 调制和 FEC 码率；

✧ **TYPE (2 符号)**：指示 FECFrame 长度 (64800/16200bits) 和导频是否存在，TYPE 域的 MSB 指示 FECFrame 的长度 (0 = 64800, 1 = 16200)，LSB 位指示导频配置 (0 = No pilots, 1 = pilots)。

■ **PLHeader** 表示为二进制序列(y_1, y_2, \dots, y_{90})，调制为 90 个 $\pi/2$ BPSK 符号：

$$I_{2i-1}=Q_{2i-1}=(1/\sqrt{2})(1-2y_{2i-1}), \quad I_{2i}=Q_{2i}=(1/\sqrt{2})(1-2y_{2i})$$

DVB-S2 物理层成帧：PLHeader 信令

MODCOD 域：5 个 bit 构成，可表示 32 种情况：

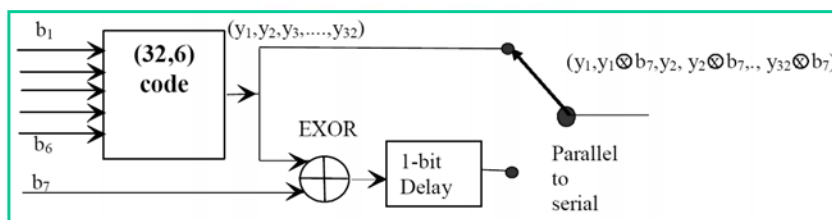
- 编码码率 $\eta_c = [1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10]$
- 调制频谱效率 $\eta_{MOD} = [2, 3, 4, 5]$

Table 12: MODCOD coding

Mode	MOD COD	Mode	MOD COD	Mode	MOD COD	Mode	MOD COD
QPSK 1/4	1 _D	QPSK 5/6	9 _D	8PSK 9/10	17 _D	32APSK 4/5	25 _D
QPSK 1/3	2 _D	QPSK 8/9	10 _D	16APSK 2/3	18 _D	32APSK 5/6	26 _D
QPSK 2/5	3 _D	QPSK 9/10	11 _D	16APSK 3/4	19 _D	32APSK 8/9	27 _D
QPSK 1/2	4 _D	8PSK 3/5	12 _D	16APSK 4/5	20 _D	32APSK 9/10	28 _D
QPSK 3/5	5 _D	8PSK 2/3	13 _D	16APSK 5/6	21 _D	Reserved	29 _D
QPSK 2/3	6 _D	8PSK 3/4	14 _D	16APSK 8/9	22 _D	Reserved	30 _D
QPSK 3/4	7 _D	8PSK 5/6	15 _D	16APSK 9/10	23 _D	Reserved	31 _D
QPSK 4/5	8 _D	8PSK 8/9	16 _D	32APSK 3/4	24 _D	DUMMY PLFRAME	0 _D

DVB-S2 物理层成帧：PLHeader 信令

PLS 纠错编码：MODCODE 和 TYPE 域采用了 (64,7) 双正交码，其基于双正交 (32,6) 码，结构如下：



(32, 6) 码生成的码字表示为 $(y_1 y_2 \dots y_{32})$ ，最终的 PLS 码输出为：

- 当 TYPE 域的 LSB 位为 0 (即 $b_7 = 0$) 时，最终的 PLS 码输出为 $(y_1 y_1 y_2 y_2 \dots y_{32} y_{32})$ ，即每个输出符号重复。
- 当 TYPE 域的 $b_7 = 1$ 时，最终的 PLS 码输出为 $(y_1 \overline{y_1} y_2 \overline{y_2} \dots y_{32} \overline{y_{32}})$ ，即每个重复的输出符号进一步是二进制补码。

- 特殊的结构保证了 (64,7) 码的每个奇数比特要么与前一个一样，要么相反，这取决于比特 b_7 ，即 TYPE 的 LSB 位。接收机差分相干检测时可以利用此信息。

DVB-S2 物理层成帧：PLHeader 信令

- MODCOD 和 TYPE 域的 MSB 采用线性分组码 (32, 6) 码，其生成矩阵为：

$$G = \begin{bmatrix} 01010101010101010101010101010101 \\ 00110011001100110011001100110011 \\ 00001111000011110000111100001111 \\ 00000000111111110000000011111111 \\ 00000000000000001111111111111111 \\ 11111111111111111111111111111111 \end{bmatrix}$$

- MODCOD 的 MSB 与矩阵 G 的第一列相乘，随后的 bit 与第二列相乘，进行下去，最终得到 $(y_1 y_2 y_3 \dots y_{32})$ 。
- PLS 纠错码输出的 64bit 进一步用下述二进制序列进行扰乱：

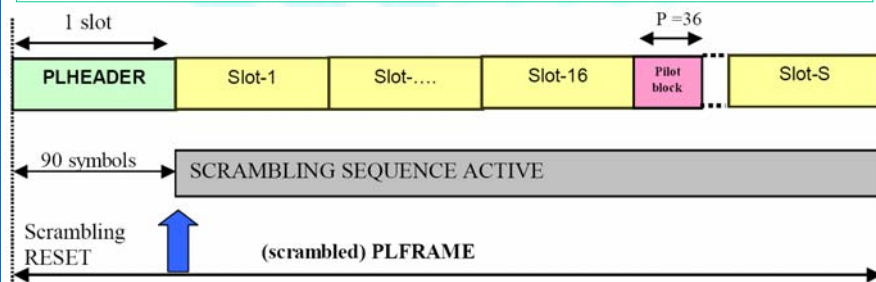
01110001100111011000001111001001010011010000100010110111111010

DVB-S2 物理层成帧：物理层扰乱

- 除了 PLHeader，每个 PLFrame 将进行随机化（扰乱）处理，即将 $(I + jQ)$ 样值乘以复数随机序列 $(C_I + jC_Q)$ ：

$$I_{\text{Scrambled}} = [I C_I - Q C_Q] \quad Q_{\text{Scrambled}} = [I C_Q + Q C_I]$$

- 复数随机序列码率与 IQ PLFrame 符号率一致，因此，扰乱处理对信道带宽没有影响。随机序列周期要大于 PLFrame 最大符号数 70000。
- 随机序列在每个 PLHeader 结束时复位，PLFrame 长度取决于选择的调制模式，因此，随机序列长度将截断为当前帧的长度。



DVB-S2 物理层成帧：物理层扰乱

- 复数随机扰乱序列由两个长度为 18 的实数 m 序列构成，得到的两个序列组成 Gold 序列集的一段。
- 令两个序列分别是 x 和 y ，它们 GF2 本原多项式为：
 - ✧ x 序列： $1 + x^7 + x^{18}$
 - ✧ y 序列： $1 + y^5 + y^7 + y^{10} + y^{18}$
- 令 $x(i)$ 、 $y(i)$ 和 $z_n(i)$ 分别表示序列 x 、 y 和 z_n 的第 i 个符号， z_n 表示 Gold 序列。
- m 序列 x 和 y 如下构建：
 - ✧ 初始条件：
 - ✧ $x(0) = 1, x(1) = x(2) = \dots = x(16) = x(17) = 0$
 - ✧ $y(0) = y(1) = \dots = y(16) = y(17) = 1$
 - ✧ 子序列符号的循环定义：
 - ✧ $x(i+18) = x(i+7) + x(i) \text{ 模 } 2, i = 0, \dots, 2^{18}-20$
 - ✧ $y(i+18) = y(i+10) + y(i+7) + y(i+5) + y(i) \text{ 模 } 2, i = 0, \dots, 2^{18}-20$
- 第 n 个 Gold 码序列 z_n 定义如下： ($n = 0, \dots, 2^{18}-20$)

$$z_n(i) = [x((i+n) \text{ 模 } (2^{18}-1)) + y(i)] \text{ 模 } 2$$

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

155

DVB-S2 物理层成帧：物理层扰乱

- Gold 序列 z_n 转换为整数值序列 R_n (假设数值为 0, 1, 2, 3)：

$$R_n(i) = 2 z_n((i + 131072) \text{ 模 } (2^{18}-1)) + z_n(i) \quad i=0,1,\dots,66419$$

- 最后，第 n 个复数随机扰乱码序列 $C_I(i) + jC_Q(i)$ 定义为：

$$C_I(i) + jC_Q(i) = \exp(j R_n(i) \pi/2)$$

R_n	$\exp(j R_n \pi/2)$	$I_{\text{scrambled}}$	$Q_{\text{scrambled}}$
0	1	I	Q
1	j	-Q	I
2	-1	-I	-Q
3	-j	Q	-I

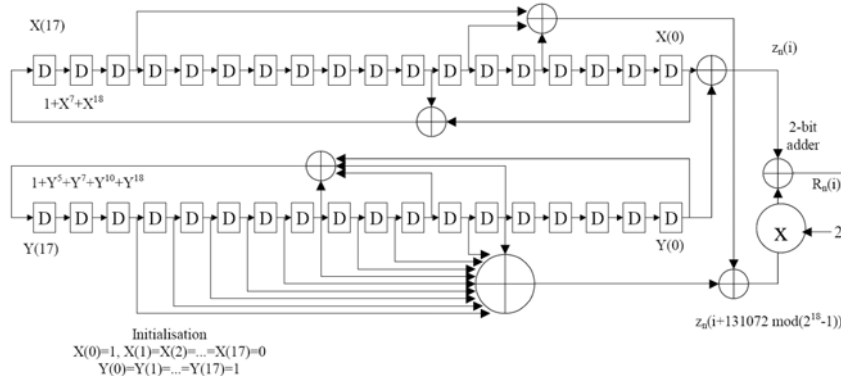
注：

- ✧ n 取值范围假设为 0~262141，表示了扩频序列数目；
- ✧ 使用不同的 PL 随机扰乱序列将能减少不同业务之间的相关干扰；
- ✧ 同样目的，在不同卫星波束中可能对相同序列的偏移版本进行再用；
- ✧ 更进一步，对每个卫星运营商、卫星或转发器直接赋予相关的 n 值，那么就可以通过 PL 扰乱“标志”检测而获得干扰信号的辨认；
- ✧ 没有明确的信令方法把 n 传送给接收机。

北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

156

DVB-S2 物理层成帧：物理层扰乱



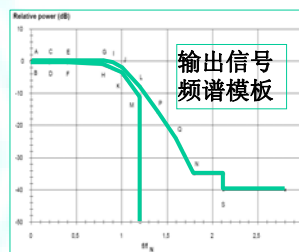
- $n=0$ 时 PL 扰乱码生成器的配置框图
- 对于广播业务， $n=0$ 用于缺省序列，以避免接收机手动设置或同步延时。

DVB-S2 基带成形和正交调制

- 随机化后的信号进行平方根升余弦滤波器 (SRRC)，滚降系数 α 为 0.35、0.25 和 0.20，取决于业务需求。
- 基带 SRRC 滤波器具有如下定义的理论函数：

$$H(f) = \begin{cases} 1 & \text{for } |f| < f_N(1-\alpha) \\ \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} & \text{for } f_N(1-\alpha) \leq |f| < f_N(1+\alpha) \\ 0 & \text{for } |f| \geq f_N(1+\alpha) \end{cases}$$

其中， $f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$ 是 Nyquist Freq.



- 基带成形滤波后的同相分量 I 和正交分量 Q 分别乘以 $\sin(2\pi f_0 t)$ 和 $\cos(2\pi f_0 t)$ ，相加后得到正交调制信号 $s(t)$ ：

$$s(t) = \underbrace{A(t) \cos \phi(t)}_{\text{in-phase 同相}} \cos \omega_c t - \underbrace{A(t) \sin \phi(t)}_{\text{Quadrature 正交}} \sin \omega_c t$$

报告提纲

从信源到信道

—— 视频和 MPEGx、信道和 DMB-T、DVB-S2



前言

信源编码技术

信道编码和调制技术

DVB-S2 技术

▣ DVB-S 回顾

▣ DVB-S2 是什么？

▣ DVB-S2 物理层技术元素

▣ DVB-S2 应用举例

- ▣ 工具箱和参数配置
- ▣ 数字电视广播
- ▣ DTT 数字电视发射机 TS 流分配
- ▣ SDTV 和 HDTV 广播
- ▣ DSNG 业务
- ▣ IP 业务
- ▣ 后向兼容业务

中心 BUPT MTC

159

DVB-S2 应用领域

■ 广播应用 (DTV):

- ▣ 非后向兼容模式
- ▣ DVB-S 后向兼容模式

■ 交互应用

- ▣ 包括码率自适应 ACM
- ▣ 个人和集体应用

■ 专业系统

- ▣ DSNG (Digital Satellite News Gathering)
- ▣ Internet 中继
- ▣ 有线馈源
- ▣ ..

■ 后向兼容模式

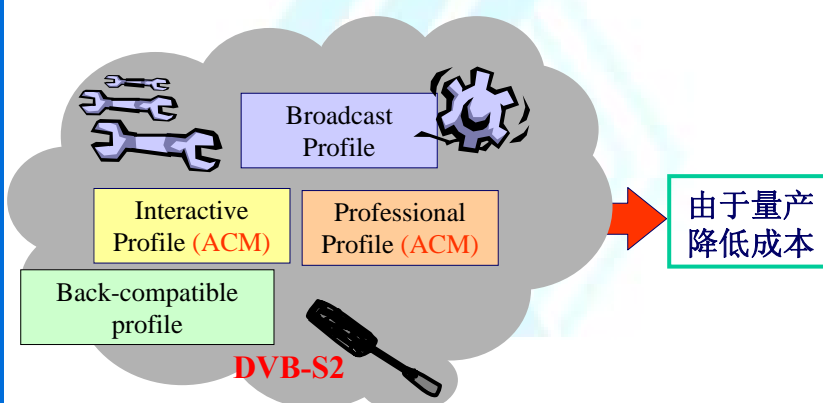
- ▣ 为了保持现有 DVB-S 接收机能够部分接收 DVB-S2 信号



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

DVB-S2 应用：工具箱

- DVB-S2 针对各种应用情况的单一系统，因此，引入了各种工具（参数和算法）。



DVB-S2 应用：系统配置

System configurations		Broadcast services	Interactive services	DSNG	Professional services
QPSK	1/4, 1/3, 2/5	O	N	N	N
	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	N	N	N	N
8PSK	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10	N	N	N	N
16APSK	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	O	N	N	N
32APSK	3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	O	N	N	N
CCM		N	N (see note 1)	N	N
VCM		O	O	O	O
ACM		NA	N (see note 2)	O	O
FECFRAME (normal)	64 800 (bits)	N	N	N	N
FECFRAME (short)	16 200 (bits)	NA	N	O	N
Single Transport Stream		N	N (see note 1)	N	N
Multiple Transport Streams		O	O (see note 2)	O	O
Single Generic Stream		NA	O (see note 2)	NA	O
Multiple Generic Streams		NA	O (see note 2)	NA	O
Roll-off 0.35, 0.25 and 0.20		N	N	N	N
Input Stream Synchronizer		NA except (see note 3)	O (see note 3)	O (see note 3)	O (see note 3)
Null Packet Deletion		NA	O (see note 3)	O (see note 3)	O (see note 3)
Dummy Frame insertion		NA except (see note 3)	N	N	N

N = normative, O = optional, NA = not applicable.

NOTE 1: Interactive service receivers shall implement CCM and Single Transport Stream.

NOTE 2: Interactive Service Receivers shall implement ACM at least in one of the two options: Multiple Transport Streams or Generic Stream (single/multiple input).

NOTE 3: Normative for single/multiple TS input stream(s) combined with ACM/VCM or for multiple TS input streams combined with CCM.

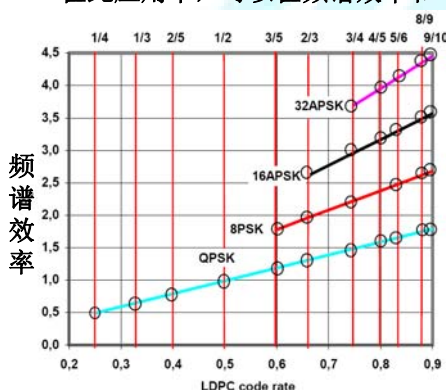
DVB-S2 应用 1: CCM 数字电视广播

■ CCM = Constant Coding and Modulation

■ DVB-S2 可用于:

- ✧ 单载波单转发器 (SCPT): 与转发器带宽匹配, 达到最大传输容量。采用群时延均衡器, 能增加传输容量或减少失真;
- ✧ 多载波单转发器 (MCPT): 要考虑相邻载波间的相互干扰, 保持在可接收的水平。

■ 在此应用中, 可以在频谱效率和 LDPC 码率之间做出选择, 如图。



■ 仿真参数

- ✧ CCM 模式
- ✧ Normal FECFrame (64800bits)
- ✧ No Padding 域
- ✧ No Pilots (导频将减少 2.4% 效率)
- ✧ 滚降系数 0.35 and 0.20
- 在这些参数下, 可以忽略转发器带宽受限而带来的 E_s/n_0 失真, 以及线性信道中相邻频道间的干扰。
- 需要仔细研究各种情况下的应用参数, 以避免产生不可接受的干扰和失真。

163

DVB-S2 应用 1: CCM 数字电视广播

■ C/N 性能的计算机仿真如下图 (与前面曲线相同)。

■ 在调制器 Nyquist 滤波器之前, 调制信号峰均比 PAR 为:

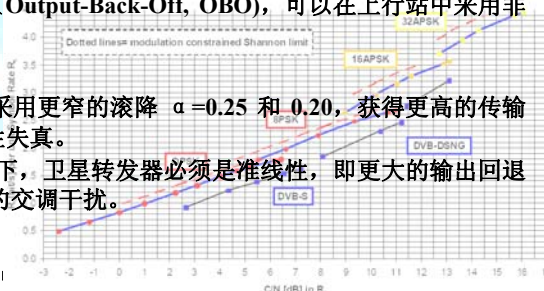
- ✧ $PAR_{QPSK \text{ 和 } 8PSK} = 0\text{dB}$;
- ✧ $PAR_{16APSK} = [1.05 \div 1.11]\text{dB}$ 精确值为 $4\gamma_2^2/(3\gamma_2^2 + 1)$;
- ✧ $PAR_{32APSK} = [1.97 \div 2.12]\text{dB}$ 精确值为 $8\gamma_2^2/(4\gamma_2^2 + 3\gamma_1^2 + 1)$;

■ 调制方式

- ✧ QPSK 和 8PSK 是准恒包络调制, 在单载波单转发器传输时, 可把转发器推到接近饱和状态, 功率效率高。
- ✧ 16APSK 和 32APSK 天生就对非线性失真敏感, 需要准线性转发器, 即需要更大的输出回退 (Output-Back-Off, OBO), 可以在上行站中采用非线性补偿技术。

■ 转发器配置

- ✧ 在 SCPT 模式下, 可采用更窄的滚降 $\alpha=0.25$ 和 0.20 , 获得更高的传输容量, 但更大的非线性失真。
- ✧ 在 MCPT FDM 模式下, 卫星转发器必须是准线性, 即更大的输出回退 OBO, 以避免信号间的交调干扰。



北京邮电大学多媒体通信中心 |

DVB-S2 应用 1: CCM 数字电视广播

■ 考虑卫星信道后，带来的 C/N 损失。

- ✘ 在非线性 TWTA 模型和各种相位噪声情况下，计算机仿真结果如下表。
- ✘ 仿真参数：Rs = 27.5 Mbaud，滚降 $\alpha = 0.3$ ，动态预失真存储 $M = 5$ (QPSK, 8PSK and 16APSK), $M = 3$ (32APSK)。
- ✘ CSAT 是在 HPA 状态下未调制载波功率；
- ✘ OBO 是饱和时未调制载波与调制载波 (OMUX 之后) 测量的功率之比 (dB)；
- ✘ 噪声模板是参考低成本消费者 LNB，自然的，对于专业应用，将会获得更小的失真。

Table H.1.1: C/N degradation [dB] on the satellite channel (simulation results)

Transmission Mode	C_{SAT}/N loss [dB] no predistortion without Phase Noise	C_{SAT}/N loss [dB] with dynamic predistortion without Phase Noise	C_{SAT}/N loss [dB] with dynamic predistortion with Phase Noise
QPSK 1/2	0.62 (IBO = 0; OBO = 0.33)	0.5 (IBO = 0 dB; OBO = 0.38)	0.63
8PSK 2/3	0.95 (IBO = 0.5; OBO = 0.35)	0.6 (IBO = 0; OBO = 0.42)	0.85
16APSK 3/4	3.2 (IBO = 5; OBO = 1.7)	1.5 (IBO = 1; OBO = 1.1)	1.8
32APSK 4/5	6.2 (IBO = 9; OBO = 3.7)	2.8 (IBO = 3.6; OBO = 2.0)	3.5

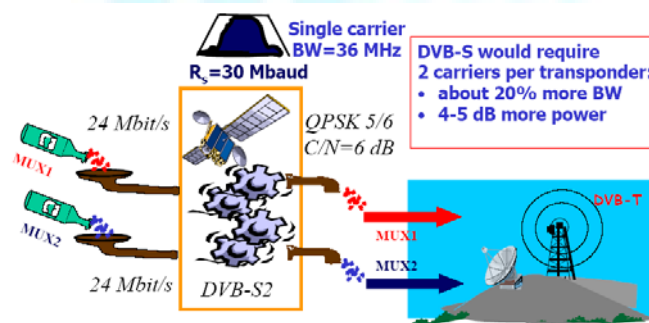
DVB-S2 应用 1: CCM 数字电视广播

■ DVB-S 和 DVB-S2 数字电视广播比较

Satellite EIRP (dBW)	51		53.7	
System	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulation & coding	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Symbol rate (Mbaud)	27.5 ($\alpha = 0.35$)	30.9 ($\alpha = 0.2$)	27.5 ($\alpha = 0.35$)	29.7 ($\alpha = 0.25$)
C/N (in 27.5 MHz) (dB)	5.1	5.1	7.8	7.8
Useful bitrate (Mbit/s)	33.8	46 (gain = 36%)	44.4	58.8 (gain = 32%)
Number of SDTV programmes	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Number of HDTV programmes	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

DVB-S2 应用 2: DTT 发射机的 TS 流分配

- 多个 TS 复接码流通过 DVB-S2 (CCM) 分发给各个地面数字电视 (DTT) 发射机。
- 若采用单转发器单载波 (SCPT), 那么可以通过卫星 HPA 饱和, 获得更优的功率效率。
- 假设转发器 $BW = 36\text{MHz}$, 滚降 $\alpha = 0.2$, 传输符号率为 30Mbaud 。
- 如果需要传输两个 24Mbps DTT Mux, 则频谱效率为 1.6bit/s/Hz , 那么对于 QPSK 5/6 码率, 需要 $C/N = [5.2 + 0.7\text{dB} + \text{实现裕量}]$ 。

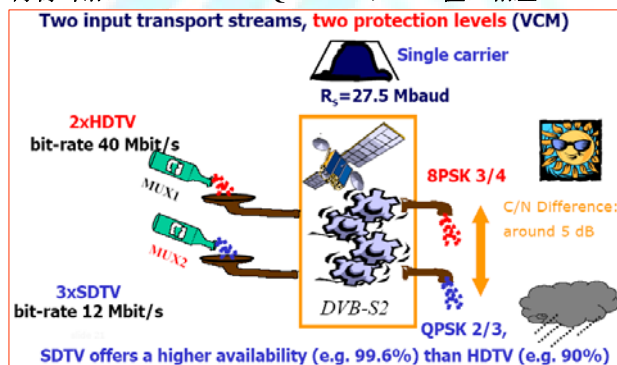


北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

167

DVB-S2 应用 3: SDTV 和 HDTV 广播

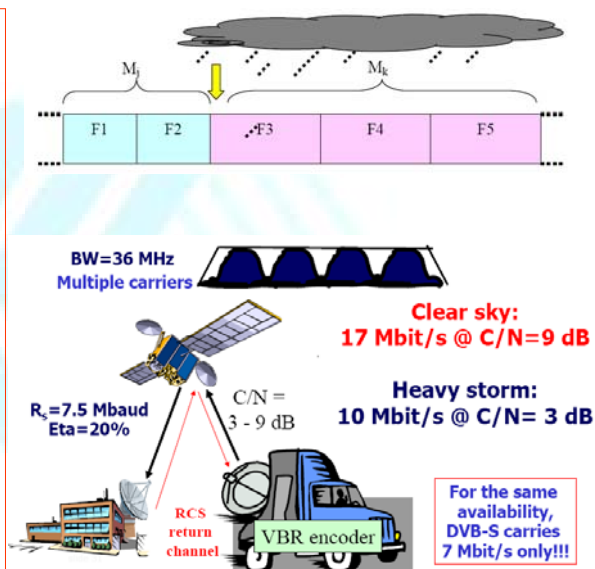
- 采用多 TS 流 VCM 模式 (VCM, Multiple TS), 为每个 TS 流提供不同的误码纠错能力。需要注意的 DVB-S2 不能在同一个 TS 码流中提供不同的误码保护。
- 典型应用是高保护的 SDTV TS 流和低保护的 HDTV TS。
 - ✧ 2 个 HDTV 节目: 40Mbps ; 3 个 SDTV 节目: 12Mbps ;
 - ✧ 27.5Mbaud 符号率;
 - ✧ 调制纠错: $8\text{PSK } 3/4$ and $\text{QPSK } 2/3$, C/N 值: 相差 $5\sim 5.5\text{dB}$ 。



168

DVB-S2 应用 4: 使用ACM 的DSNG 业务

- 在点对点 ACM 链路中, 单个 TS 传送给唯一的接收站 (例如 DSNG), 这样需要根据接收点的卫星信道 $C/N+I$ 变化情况, 改变 TS 包的纠错保护能力。
- 当传播条件发生改变时, PLFrame F_i 将从保护模式 M_j 切换到保护模式 M_k , 以保证业务的连续性。



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

169

DVB-S2 应用 5: IP 业务

宽带卫星交互业务的优势和劣势:

优势:

- 广阔的覆盖和快速网络部署
- 不需要昂贵的地面设施: 理想的农村或发展中国家覆盖。

劣势:

- 现今卫星容量业务成本 30% - 50%
- 地面 ADSL 费用快速下降

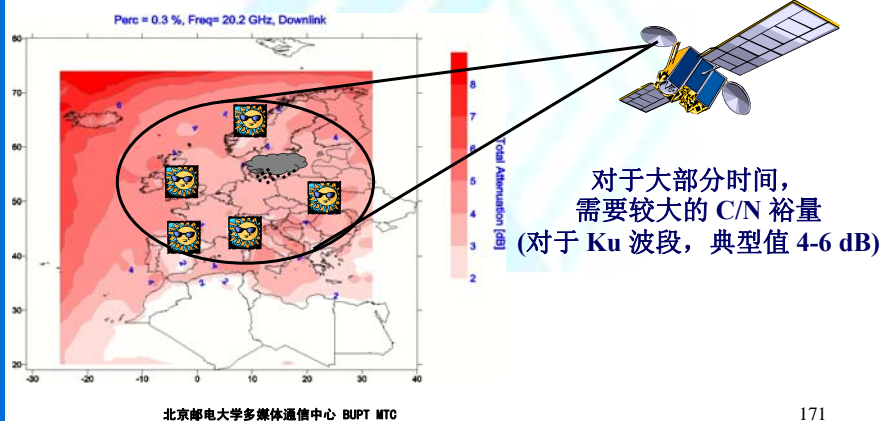


北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

170

DVB-S2 应用 5: IP 业务

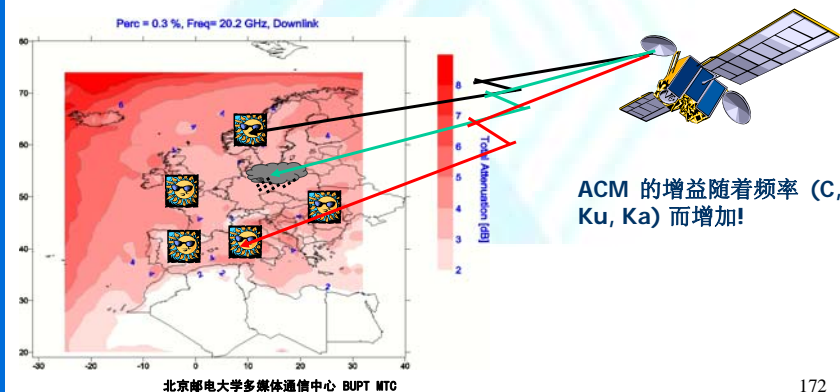
- 目前卫星DVB IP/Unicast 业务在下行链路上使用 DVB-S。
- DVB-S 是为广播业务研发的，其物理层保护能力对于每个业务和任何时刻都是恒定不变的（是对最坏情况、最坏业务、最坏时刻、最坏位置下的链路优化）



171

DVB-S2 应用 5: IP 业务

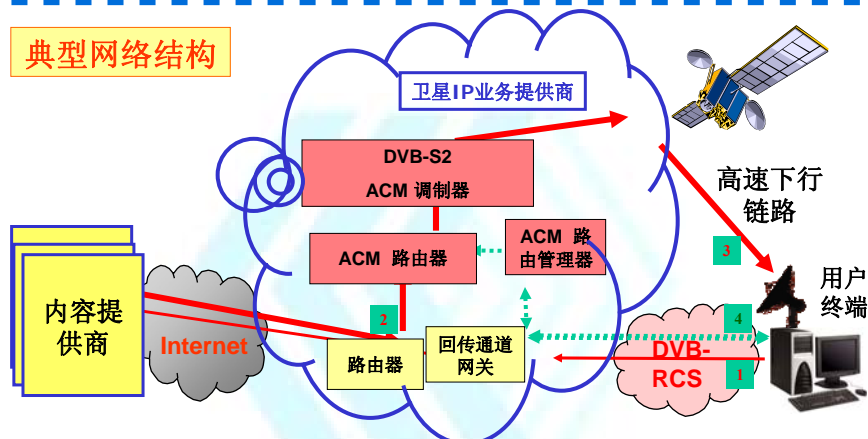
- DVB-S2 ACM 技术允许按着传播条件 (雨天/晴天、波束中心/边缘、....) 自适应地进行 FEC/调制。
- 每个用户可能需要很低的 C/N 裕量就能运行，那么将使卫星吞吐量最大化。



172

DVB-S2 应用 5: IP 业务

典型网络结构



- 终端通过低速回传信道 (例如 DVB-RCS) 发送请求;
- 卫星 Internet 业务提供商为用户请求提供 Internet 路由, 并为内容提供商提供卫星路由。
- S-ISP 通过 ACM 路由管理器完成 ACM, 通过回传链路 with 用户终端协商业务等级/误码保护

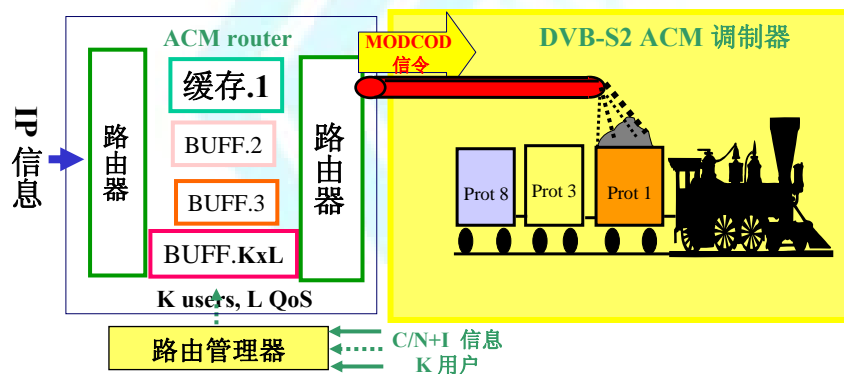
北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

173

DVB-S2 应用 5: IP 业务

■ IP over generic streams

- ✧ 按着需要的保护、优先级等, 把 IP 流分到不同的 buffer 中。
- ✧ 按着需要的保护, 路由器把用户数据装载到“车厢”中, 车厢中可以装载不同用户的数据。
- ✧ 按着流量的需要, 火车的高低保护数据的比例可以及时改变。

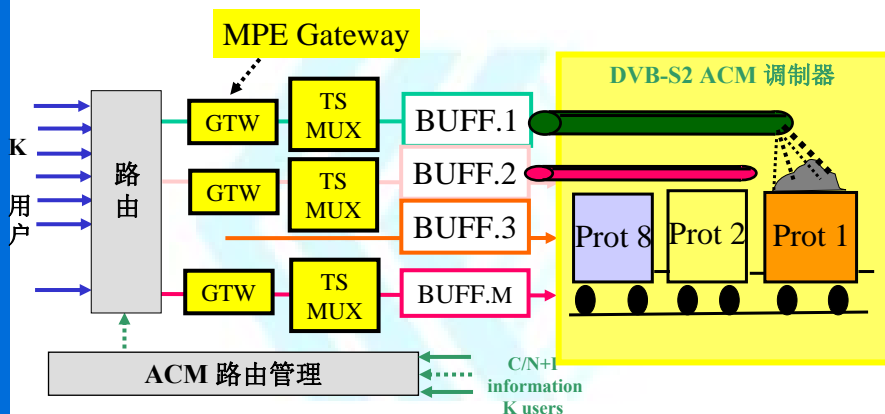


北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

174

DVB-S2 应用 5: IP 业务

■ IP over MPEG TS (每个保护等级上一个 TS 流)



DVB-S2 提供了专门的工具用于在 ACM 上传送 TS 流

DVB-S2 应用 5: IP 业务

■ 空间资源

□ 用户速率

- ✦ 峰值时间有效用户百分比: 8%
- ✦ 每个用户的峰值比特率: 没有限制 (最高信道容量)
- ✦ 每个有效用户保证的比特率: 100 kbps
 - ✧ 30% 的有效用户: 200 Kbit/s (视频流)
 - ✧ 70% 的有效用户: 58 Kbit/s (WWW 浏览)

□ 72 MHz Ka 波段转发器, 总的容量:

- ✦ 68 Mbit/s, 对于 DVB-S
- ✦ 177 Mbit/s, 对于 DVB-S2 ACM (平均)

□ 每个转发器的用户数

- ✦ 8500 用户/转发器 (DVB-S)
- ✦ 22000 用户/转发器 (DVB-S2)

DVB-S2 应用 5: IP 业务

DVB-S2 与 ADSL 费用比较

转发器成本 (Ka 点波束): 2.6 M€/年

$$\text{DVB-S} \quad \frac{2.6 \text{ M€/year}}{8500 \text{ users}} = 306 \text{ €/年 (satellite capacity only)}$$

$$\text{DVB-S2} \quad \frac{2.6 \text{ M€/year}}{22000 \text{ users}} = 118 \text{ €/年 (satellite capacity only)}$$

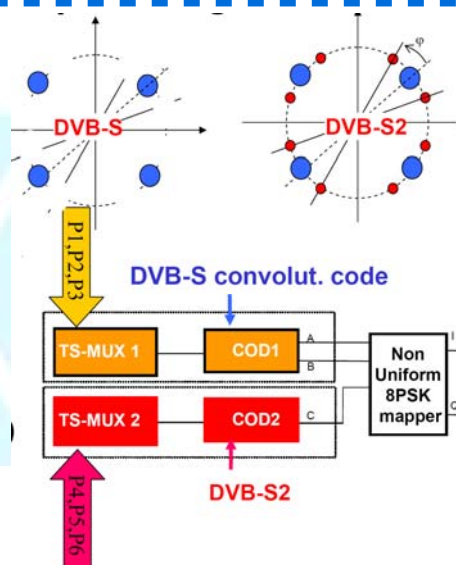
.... + DVB-RCS 回传信道 (30 kbit/s): 50-100 €/year ????

ADSL (flat) = 350 €/year (full service)

- DVB-S2, 宽带卫星应用的新技术, 为交互业务提供了更强大的工具箱。
- 幅员辽阔的国家建立完整的地面 Internet 基础设施非常困难, DVB-S2 能以适当的费用, 快速构建国家信息网络。
- 最近的商业调查预计在 2005~2009 年 DVB-S2 设备的收入将达到 1.3 Billion US\$ (70% 是交互业务)

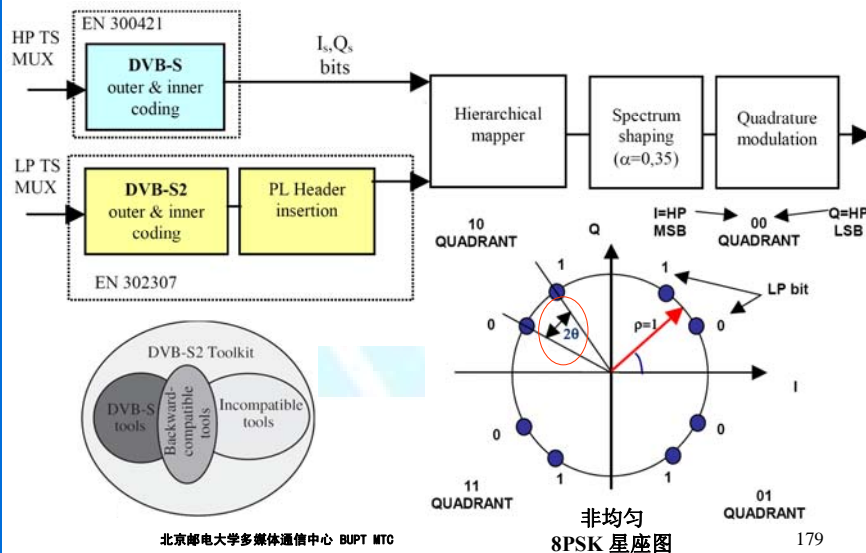
DVB-S2 应用 6: 后向兼容业务

- 后向兼容模式 (Backwards Compatible, BC) 是选项, 为了保持现有 DVB-S 接收机能够部分接收 DVB-S2 信号。
- BC 模式采用分级调制方式实现 DVB-S 和 DVB-S2 的兼容, 星座图为非均匀 8PSK。
- 高优先级 (HP) 码流传送后向兼容的 DVB-S 信号。
- 低优先级 (LP) 码流传送非兼容的 DVB-S2 信号, 编码码率为 1/4、1/3、1/2 和 3/5。



DVB-S2 应用 6：后向兼容业务

■ DVB-S2 BC 模式功能框图



北京邮电大学多媒体通信中心 BUPT MTC

179

DVB-S2 应用 6：后向兼容业务

■ 偏移角 θ 对 DVB-S (HP流) 和 DVB-S2(LP流) C/N 性能的影响:

- 非均匀 8PSK 星座图的偏移角 θ 可以根据用户的需求改变, 但 θ 受现有 DVB-S 接收机的限制, 例如载波恢复周期滑动。大的 θ 将提高 LP 抵抗噪声和干扰的能力, 而降低 HP 的可靠性。

- 右图给出了 θ 和 HP/LP 性能的关系。HP 和 LP 曲线的交叉点是 HP 和 LP 性能平衡点。在实际中需要考虑实际信道特性后, 对每个案例优化传输参数 (编码码率、偏移角 θ 等)。

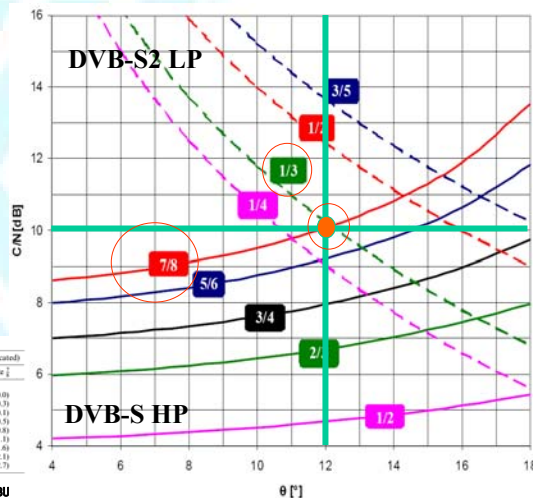
$\theta = 0$, 为 DVB-S 的 C/N:

3.2dB(1/2码率)、4.9(2/3)、
5.9(3/4)、6.9(5/6)、7.7(7/8)

Table IV. Hierarchical HP layer simulated performance.

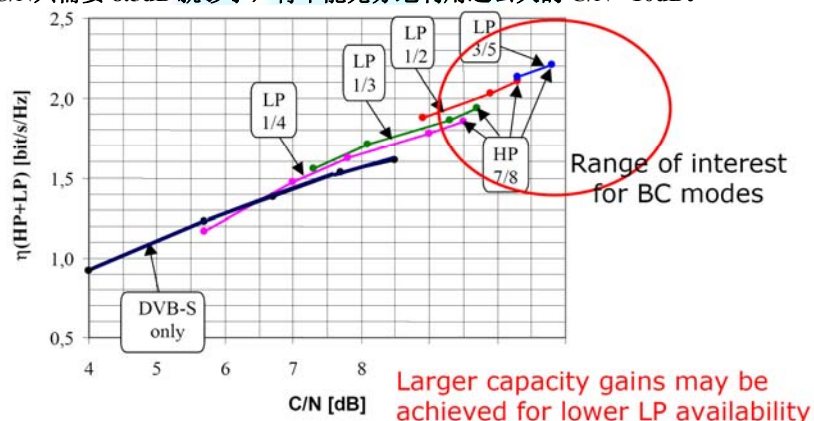
Half-angle (deg)	HP rate	HP rate	HP rate	HP rate	HP rate
0 (DVB-S)	3.2	4.9	5.9	6.9	7.7
2	3.2 (0.0)	5.2 (0.3)	5.9 (0.0)	7.1 (0.2)	7.7 (0.0)
4	3.3 (0.1)	6.0 (0.0)	6.1 (0.2)	7.1 (0.2)	8.0 (0.3)
6	3.4 (0.2)	5.2 (0.3)	6.1 (0.2)	7.2 (0.3)	7.8 (0.1)
8	3.4 (0.2)	5.4 (0.5)	6.4 (0.5)	7.6 (0.7)	8.2 (0.5)
10	3.5 (0.3)	5.5 (0.6)	6.5 (0.6)	7.9 (1.0)	8.5 (0.8)
12	3.6 (0.4)	5.7 (0.8)	6.6 (0.7)	8.2 (1.3)	8.8 (1.1)
14	4.1 (0.9)	6.1 (1.2)	7.1 (1.2)	8.7 (1.8)	9.3 (1.6)
16	4.3 (1.1)	6.4 (1.5)	7.4 (1.5)	9.1 (2.2)	9.8 (2.1)
18	5.0 (1.8)	6.9 (2.0)	8.1 (2.1)	9.6 (2.7)	10.4 (2.7)

北京邮电大学多媒体通信中心 BU



DVB-S2 应用 6：后向兼容业务

- 在高 C/N 值（即大于 9dB，大功率卫星）和高的频谱效率（大于 1.6，即 DVB-S 所能提供的最高 7/8 码率）时，BC 模式具有最显著的容量增益（在给定的 C/N 下获得额外的码率）。
- 例如 $C/N = 10\text{dB}$ ， $\theta = 12^\circ$ ，DVB-S HP 采用 QPSK 7/8（频谱效率 1.61bit/s/Hz），DVB-S2 LP 采用 1/3 LDPC（频谱效率 0.33bit/s/Hz），则总的频谱效率为 $1.61(\text{HP}) + 0.33(\text{LP}) = 1.94\text{bit/s/Hz}$ 。此时，如果只采用 DVB-S， C/N 只需要 8.5dB 就够了，将不能充分地利用这么大的 $C/N = 10\text{dB}$ 。



DVB-S2 应用 6：后向兼容业务

- 下表给出了在不同的 FEC 编码码率下 LP 流和 HP 流的比特率比值。

Table F.2: (LP bit-rate/HP bit-rate) $\times 100$ [%]

DVB-S Coding (HP)	DVB-S.2 Coding (LP)			
	1/4	1/3	1/2	3/5
1/2	26,6	35,7	53,7	64,6
2/3	20,0	26,7	40,3	48,4
3/4	17,8	23,8	35,8	43,0
5/6	16,0	21,4	32,2	38,7
7/8	15,2	20,4	30,7	36,9

- 对于 BC 模式，将不使用虚构帧和短时 Frame，PLHeader 由 90bit 构成，以指示正在传输的 LP 码率，如下所示，8 进制表示，MSB(最左边比特)先传：

- 441647550603300214057262124712 indicates 1/4 rate;
- 753012530643221406326217103300 indicates 1/3 rate;
- 247124232750142006603055713411 indicates 1/2 rate;
- 006604742326301422613065240657 indicates 3/5 rate.

小结

- **DVB-S2 将开创卫星通信和广播新时代，系统性能逼近了 Shannon 极限；**
- **DVB-S2 为各种不同应用提供了相应的工具箱；**
 - ✧ DVB-S2 具有与 DVB-S 后向兼容的 BC 模式，为目前数量众多的 DVB-S 接收机提供一个过渡期。
 - ✧ DVB-S2 更专注于以前 DVB-S 没有涉足很深的领域
 - ✧ HDTV、IP 业务、专业应用等
 - ✧ DVB-S2 ACM 与多点波束 Ka 波段卫星结合，IP 业务（Internet）费用将降低很多，可以与地面接入（ADSL）展开竞争，至少在边远地区和发展国家是如此。
 - ✧ DVB-S2 与新的音视频编码算法（H.264/AVC、WM9 和 AVS）结合，一个 36MHz 转发器将可传送：
 - ✧ 20~25 SDTV
 - ✧ 5~6 HDTV

谢谢！

