

## 基于 TCM 的 UEP16QAM 和 64QAM 方案<sup>1</sup>

李光球

(杭州电子工业学院信息通信系 21 信箱 杭州 310037)

**摘要** 本文提出基于格状编码调制 (TCM) 的非均匀星座不等差错保护 (UEP)16QAM(正交幅度调制) 和 64QAM 方案, 与通常的均匀星座  $M$  状态 QAM(MQAM) 相比, UEP MQAM 方案的重要数据和不重要数据均可获得数个分贝的编码增益。

**关键词** 格状编码调制, 正交幅度调制, 不等差错保护, 分级传输, 多分辨率调制

**中图分类号** TN911.31

### 1 引言

分级传输技术在欧洲的数字电视地面广播和多媒体移动通信系统中均获得应用<sup>[1-4]</sup>。分级传输系统是由分级信源编码器和相应的信道编码器组成。分级信道编码器有多分辨率调制和不等差错保护编码调制两种实现方案<sup>[3-5]</sup>。多分辨率调制是以牺牲不重要信息数据的稳健性来换取对重要信息数据的差错保护的提高<sup>[3]</sup>。L. F. Wei 研究了用非均匀星座不等差错保护编码调制 32QAM 和 64QAM 和不同编码星座的时分多路复用两种方案来实现分级传输<sup>[5]</sup>。本文提出实现分级传输的一种非均匀星座不等差错保护编码调制 MQAM 新方案。

### 2 非均匀星座 MQAM 多分辨率调制

正交幅度调制由两个正交的载波构成, 每个载波被一组离散的振幅  $\{a_k\}$ ,  $\{b_k\}$  所调制。MQAM 的一般表达式为

$$S(t) = a_k \cos \omega_c t + b_k \sin \omega_c t, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

式中  $T$  为码元周期,  $\omega_c$  为载波频率,  $a_k = c_k \Delta_0$ ,  $b_k = d_k \Delta_1$ ,  $c_k, d_k \in \{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm m - 1\}$ ,  $M = m^2$ 。接收时 MQAM 信号分成两个幅度调制信号进行相干解调。同相分量和正交分量的误码性能取决于符号间的最小距离  $\Delta_0$  和  $\Delta_1$ 。

不难看出: 当  $\Delta_0 = \Delta_1 = \Delta$  时, 即为通常的均匀星座 MQAM 调制。同相分量和正交分量具有相同的能量和误码性能。当  $\Delta_0 \neq \Delta_1$ , 且  $\lambda = \Delta_0/\Delta_1 > 1$  时, 即构成新的非均匀星座多分辨率 MQAM 调制方案。同相分量的误码性能相对于通常的 MQAM, 性能改善为

$$L_I = 10 \lg[2\lambda^2/(1 + \lambda^2)](\text{dB}). \quad (2)$$

正交分量的误码性能相对于通常的 MQAM, 性能恶化为

$$L_Q = 10 \lg[2/(1 + \lambda^2)](\text{dB}). \quad (3)$$

作为特例, 可知  $\lambda=2$  时,  $L_I$  和  $L_Q$  分别为 2.0dB 和 -4.0dB。

<sup>1</sup> 1998-05-14 收到, 1999-01-17 定稿  
国家自然科学基金资助课题 (批准号 69602007)

### 3 UEPMQAM 新方案及性能

3.1 基于 TCM 的非均匀星座 UEPMQAM 方案 假定与欧洲的数字电视地面广播系统<sup>[1]</sup>一样, 信源编码器输出高低两个优先级数据流, 本文将高优先级数据和低优先级数据分别称之为重要信息数据和不重要信息数据, 以 H 和 L 来表示, 应用上述非均匀星座 MQAM 方案可实现两分辨率的分级传输, 此时同相分量传输重要信息数据, 正交分量传输不重要信息数据, 则与文献 [3] 类似, 是以牺牲不重要信息数据的稳健性来换取对重要信息数据的差错保护的提高。

为改善误码性能, 本文提出可实现两分辨率分级传输的 UEP MQAM 方案, 原理如图 1 所示。信源编码器输出的数据流经去多路复用后分为重要信息数据和不重要信息数据, 重要信息数据经 1/2 率和 2/3 率 TCM 编码<sup>[6]</sup>后分别形成 UEP16MQAM 和 UEP64QAM 的正交分量  $b_k$ , 即 UEP16QAM 和 UEP64QAM 的正交分量分别为 1/2 率 TCM4ASK(幅度键控) 和 2/3 率 TCM8ASK, 符号间的最小距离为  $\Delta_1$ 。不重要信息数据  $k$  比特经  $2-m$  电平变换后进行通常的 mASK 调制形成 UEPMQAM 信号的同相分量  $a_k$ , 符号间的最小距离为  $\Delta_0$ ,  $\Delta_0 > \Delta_1$ 。UEPMQAM 调制的一般表达式可由 (1) 式给出。接收时 MQAM 信号分成两个 mASK 信号进行相干解调, 正交分量  $Q$  采用软判决维特比译码恢复重要信息数据, 同相分量  $I$  进行通常的 mASK 解调恢复不重要信息数据, 然后经多路复用形成信源译码器译码所要求的数据流。不难看出, 在加性高斯噪声下同相分量的误符号性能取决于 mASK 符号间的最小距离  $\Delta_0$ , 正交分量的误码性能取决于 TCM-mASK 符号间的最小自由欧氏距离  $d_{free}$ , 合理设计  $d_{free}$  和  $\Delta_0$ , 该 UEP MQAM 方案可提供不等差错保护, 且同相分量和正交分量的误码性能均优于对应的均匀星座 MQAM。

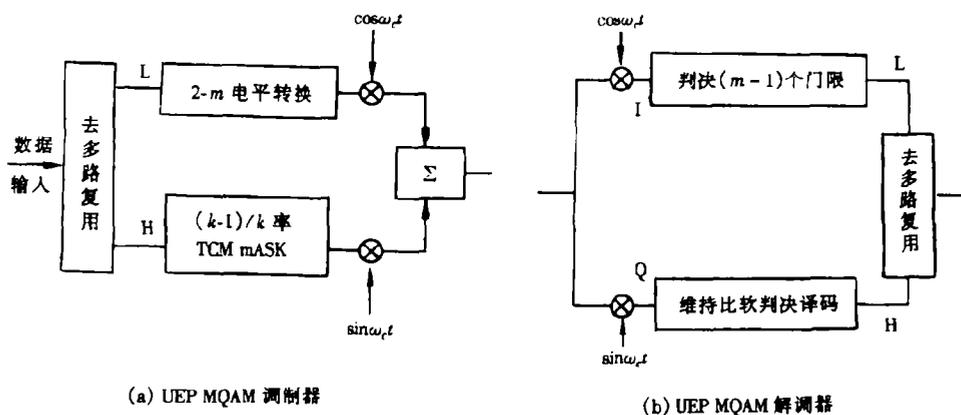


图 1 UEP MQAM 方案 ( $M = 2^{2k}$ , 16QAM,  $k=2$ ; 64QAM,  $k=3$ )

3.2 UEP MQAM 的性能 假定正交分量 TCMmASK 符号和同相分量 mASK 等概出现, 则 16QAM 频谱利用率为  $3\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}$ , 其中重要数据占 33.3%; 64QAM 频谱利用率为  $5\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}$ , 其中重要数据占 40%。

均匀星座 MQAM 的同相分量和正交分量的能量相等, 而本文的 UEP MQAM 方案同相分量的能量大于正交分量能量, 因此, UEP MQAM 同相分量的误码性能优于均匀星

座 MQAM, 其性能改善可由 (2) 式给出。尽管 UEP MQAM 正交分量的能量小于均匀星座 MQAM, 但由于采用了 TCM 编码, 合理设计  $d_{\text{free}}$ , 仍然可使正交分量的误码性能优于同相分量和均匀星座 MQAM, 从而获得不等差错保护。根据文献 [7] 的 (8-3-1) 式和均匀星座 MQAM 的误码性能分析可得 UEP MQAM 正交分量相对于均匀星座 MQAM 的渐近编码增益 (ACG) 为

$$\text{ACG} = 10 \lg 2d_{\text{free}}^2 / [\Delta_1^2(1 + \lambda^2)]. \quad (4)$$

UEP MQAM 的正交分量采用最佳 Ungerboeck 码 [6], 表 1 给出了不同编码存贮  $v$  和作为特例的不同  $\lambda$  值时 UEP MQAM 正交分量相对于通常的均匀星座 MQAM 的 ACG。表中同时给出不同  $\lambda$  时 UEP MQAM 同相分量相对于通常的均匀星座 MQAM 的性能改善  $L_A$ 。对  $\lambda$  取其它值  $L_A$  和 ACG 可由 (2) 和 (4) 式求出。经分析可知, UEP 16QAM 的 ACG 与  $L_A$  和 UEP 64 QAM 的相同。由表 1 可知, 增加编码存贮, ACG 改善不明显, 同时也看到编码存贮为 2 时, 即可获得较大的 ACG; ACG 和  $L_A$  之间存在折衷。为保证  $\text{ACG} > L_A$ , 须有  $\lambda < d_{\text{free}}/\Delta_1$ , 如对  $v = 2$  要使  $\lambda < 3$ 。对于  $v = 2$ , 本文的方案不适用于  $\lambda > 3$  的情况; 对  $v$  为其它值, 由  $d_{\text{free}}$  可决定相应的  $\lambda$  值。

表 1 不同  $v$  时 UEP MQAM 相对于通常均匀星座 MQAM 的 ACG 和  $L_A$

编码存贮 $v$	2	3	4	5	6	参数 $\lambda$ 和 $L_A$ (dB)
ACG(dB)	5.6	6.0	6.4	7.1	7.4	$\lambda=2, L_A = 2.0$
ACG(dB)	7.4	7.9	8.3	9.0	9.3	$\lambda=1.5, L_A = 1.4$

#### 4 结 语

本文提出的 UEP MQAM 方案的同相分量和正交分量的误码性能均优于通常的均匀星座 MQAM, 同相分量  $L_A$  的极限为 3.0dB。为实现分级传输, 对重要数据和不重要数据提供不同的差错保护, 要根据要求在  $L_A$  和 ACG 之间进行折衷考虑。与文献 [5] 的需要使用两个维特比译码器 (时分多路复用方案还需使用两个信号星座) 方案相比, 本文的方案仅需一个信号星座和一个维特比译码器, 并且实现简单。该 UEP MQAM 方案可用于数字电视的地面广播、多媒体移动通信及人际通信系统。

#### 参 考 文 献

- [1] Digital Video Broadcasting(DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television(DVB-T). European Telecommunication Standard, Final Draft prETS300 744. 1996, 11
- [2] Morimoto M, Okada M, Komaki S. A hierarchical image transmission systems for multimedia mobile communication. IEICE Trans. Commun., 1997, E80(5): 779-781.
- [3] Fazel K, Ruf J M. Combined multilevel coding and multiresolution modulation. In: Proc of IEEE ICC, Houston, Texas: 1993, 1081-1085.
- [4] Ramchandran K, Ortega A, Uz M K, *et al.* Multiresolution broadcasting for digital HDTV using source/channel coding. IEEE J. of SAC, 1993, 11(1): 6-22.
- [5] Wei L F. Coded modulation with unequal error protection. IEEE Trans. on Commun., 1993, 41(10): 1439-1449.

- [6] Ungerboeck G. Trellis-coded modulation with redundant signals sets Part I: Introduction and Part II: State of the art. IEEE Commun. Mag., 1987, 25(2): 5-21.
- [7] Prokis J G. 数字通信. 北京: 电子工业出版社, 1998, 511-526.

## 16QAM AND 64QAM SCHEMES WITH UNEQUAL ERROR PROTECTION BASED ON TRELLIS CODED MODULATION

Li Guangqiu

(Hangzhou Institute of Electronic Engineering, Hangzhou 310037)

**Abstract** Nonuniformly spaced 16QAM(Quadrature Amplitude Modulation) and 64QAM schemes with unequal error protection(UEP) that are designed using Trellis Coded Modulation (TCM) are proposed in this paper. Compared with conventional uniformly spaced MQAM, both the important data and the less important data of UEP MQAM can obtain several decibels of coding gain.

**Key words** Trellis coded modulation, Quadrature amplitude modulation, Unequal error protection, Hierarchical transmission, Multiresolution modulation

李光球: 男, 1966 年生, 博士, 副教授. 现从事数字电视、高效调制和纠错编码等方面的研究.