

文章编号: 1001 - 893X(2011)09 - 0015 - 05

一种适用于宽带数据链的 TCM 编码新方法*

张双雄, 周 俊

(空军雷达学院, 武汉 430019)

摘要:针对现行 TCM 编码方法过于复杂、寻码不够灵活的问题,给出了一种新的 TCM 编码方法。通过分析 TCM 编码的直观规则,以一位延迟作为输出先画出任一编码器结构,然后转化为多项式表示通过 MATLAB 函数来验证其网格结构,最后画出状态分析图,写出映射方式。该方法采用一位延迟输出的任意编码器结构,通过网格验证后即可符合 TCM 编码的直观规则,简化了编码难度,提高了 TCM 编码的灵活性,并且可以快速写出编码的映射方式,使 TCM 的编码过程变得更加简捷。

关键词:宽带数据链;TCM 编码;卷积码多项式;状态分析

中图分类号:TN911 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.09.004

A Novel TCM Coding Method for Wideband Data Link

ZHANG Shuang-xiong, ZHOU Jun

(Air Force Radar Academy, Wuhan 430019, China)

Abstract: A novel TCM coding method is proposed to solve the problem of inflexibility in searching code and high complexity of current TCM coding algorithm. By analysing the TCM coding regulation, this method using one-bit delay as output bit to construct the framework of any coder firstly, transforms it into a polynomial, then tests the network structure via MATLAB function, and plots the picture of state analysis to get mapping mode. This method facilitates the TCM coding and improves the coding flexibility, and the mapping mode of coding can also be obtained quickly, which makes the coding progress more simple and direct.

Key words: wideband data link; TCM coding; polynomial of convolution coding; state analysis

1 引言

高速宽带数据链主要用于传输大量实时预警监视信息,对传输带宽和传输可靠性的要求非常高。增大传输带宽主要通过高效的调制方式来实现,传输可靠性主要通过信道编码来改善。目前,高效的调制技术和信道编码技术都已比较成熟,但在传统的通信系统中,都是将调制和编码进行独立设计,这对于整个系统来说并不能取得最佳效果。TCM 编码调制技术^[1]将调制方式和编码技术联合设计,将

纠错编码技术引入欧几里德空间,采用子集划分映射方法用欧氏距离取代汉明距离选择最佳信号星座图,使编码和调制完美结合,在不扩展占用频带条件下既有纠错能力,又提高了编码增益。

迄今为止,TCM 一般都是在选择了映射方式之后再去寻找合适的卷积码而得到,然而,这种方法很大程度上限制了 TCM 码的数量。文献[2]介绍了 TCM 好码的动态规划(DP)算法,DP 算法在精度和复杂度上有所改进,但仍然比较复杂,因此,寻求更为有效的 TCM 编码方法是很有必要的。

本文将介绍一种采用延迟一位作为输出来构造

* 收稿日期:2011-03-11;修回日期:2011-06-10

基金项目:2010 年空军通信指挥装备军内科研计划项目

Foundation Item: Military Scientific Research Project on Air Force C2 Equipment for 2010

卷积编码器的编码方法,通过分析直观规则及卷积编码器的输出规律,通过网格验证的这种卷积编码器即可满足 TCM 编码的直观规则。

2 TCM 简介

2.1 TCM 基本概念

如图 1 所示,网格编码调制包括卷积编码和分集映射两部分。一个 k 比特输入信息段分为 k_1 和 k_2 两段:前 k_1 比特通过一个 (n, k_1, m) 卷积码编码器,产生 n 比特输出,用于选择信号星座图中 2^n 划分之一;后面的 k_2 比特用于选定星座图中的信号点。当 k_2 为零时,所有 k 比特信息都参与编码。在网格编码调制中,状态数与卷积编码器中的寄存器数成 2 的幂次方关系,若寄存器数为 t ,则状态数为 2^t ,随着状态数的增加,系统会得到更大的编码增益,但设备复杂程度也会相应提高。TCM 信号在接收端解调后经反映射先转换为卷积码,再送入采用基于软判决的维特比译码器进行译码。

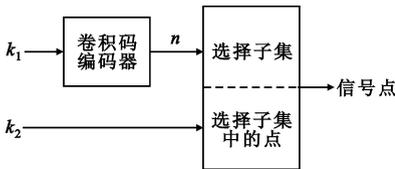


图 1 TCM 编码器方框图
Fig.1 Block diagram of TCM encoder

TCM 有两个基本特点^[3]:一是在信号空间中的信号点数目比无编码的调制情况下对应的信号点数目要多,这些增加的信号点使编码有了冗余,而不牺牲带宽;二是采用卷积码的编码规则,使信号点之间引入相互依赖关系。仅有某些信号点图样或序列是允许用的信号序列,并可模型化成为网格状结构,因此又称为“格状”编码。

2.2 集分割原理

集分割是将一个空间信号点集连续地分割成较小的子集,并使分割后的子集内的最小空间距离得到最大的增加。每一次分割都是将一较大的信号集分割成较小的两个子集,每经过一级分割子集数就加倍,而子集内的最小距离也增大。设经过 i 级分割后,子集内最小距离为 $\Delta_i (i = 0, 1, \dots)$,则有 $\Delta_0 < \Delta_1 < \Delta_2$ 。图 2 给出了 8PSK 信号集分割的过程。

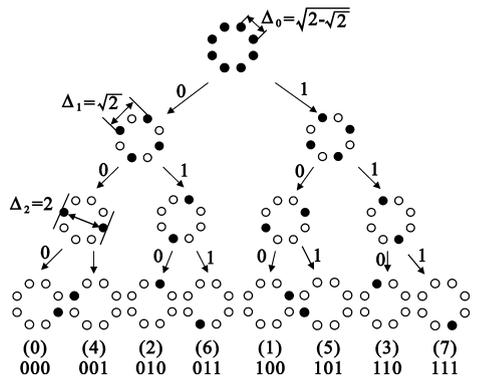


图 2 8PSK 集分割示意图
Fig.2 The scenario of 8-PSK subset division

对 8PSK 来说,经过 3 级分割后,每一子集内仅剩一个信号点,每个信号点都有 3 位编码比特与之对应(如图 2 所示),称此映射方式为自然映射。然而,除了自然映射外,还存在有其它大量的映射方式。就算是采用集分割所定义的映射,左边分支取 0 右边分支取 1,和左边分支取 1 右边分支取 0 所形成的映射结果也不同。若编码器每一时隙有 M 种可能的编码输出,则总共存在 $M!$ 种映射方式^[4]。如 8PSK,有 $8! = 40320$ 种映射方式。对于映射方式的选取,Porath 指出:所有这些映射方式可按照最佳自由距划分为等价类,对 8PSK 来说,总共可划分 30 个等价类,其中,包含自然映射的一类映射方式可以使信号点间的欧氏距离达到最大,是最佳映射方式。

根据集分割过程,可得出下面构造 TCM 好码网格图的直观规则^[5]。

(1)所有调制信号应有尽可能多的规则性和对称性。TCM 是一种对信号空间作最佳分割的方案,而调制信号空间是对称的,所以最佳分割方案也应具有规则性和对称性。

(2)从某一状态出发的所有转移,或到达某一状态的所有转移,必须属于同一上级子集。

(3)每对平行转移必须对应最下一级划分同一子集中的两个信号点。

3 一种 TCM 编码的新方法

3.1 卷积编码器多项式表示

TCM 编码首先是设计卷积编码器,然后根据编码器的输出选取映射方式。在 MATLAB 中,卷积编码器主要由约束长度(ConstraintLength)、生成多项式(CodeGenerator Polynomials)来表示。卷积码约束长

状态的转移是从 000 状态出发的所有转移的子集的情况下,可以保证从 001 状态出发的所有转移属于同一组码字,只是输出顺序会有不一样,这样,通过合法性验证的格形结构,能够保证到达某一状态的所有转移都属于同一上级子集,并且不会出现重复映射的情况。

通过以上分析,要满足到达所有转移都属于同一上级子集这一规则,就是如何使在输入为 00 时,从 001 状态到达 000 状态的转移是从 000 状态出发的所有转移的子集。而要满足上述要求,只需采用延迟一位输出的方法即可实现,即将 $b_1 b_2 b_3$ 中的 $b_1 b_2$ 任一位(对于四状态输出 b_1)作为一位输出即可。因为 001 状态和 000 状态中的 $b_1 b_2$ 都是相同的且都为 0,若将其中任一位作为输出,可保证两种状态的所有输出的三位码的码字中有一位是相同的。若输出 b_1 作为第二位输出,则输出码字为 $x0x$ 。因为 TCM-8PSK 卷积码编码器输出为三位,共有八位码字,若有一位相同,则输出可因 b_1 为 0 或 1 分为两组,每组含有 4 个码字,而对于从 000 状态和 001 状态出发的所有转移都各有 4 种,而且必须满足中间一位是 0 的条件,因此两种状态的所有转移必须是同一组,这样在输入为 00 时,从 001 状态到达 000 状态的转移是从 000 状态出发的所有转移的子集。

同理,在输入为 11 时,可从 110 和 111 这两种状态来考虑设计卷积编码器。

综上所述,TCM-8PSK 的这种新编码方法可归纳如下:

(1)采用一位延迟输出 b_1 或 b_2 作为一位输出的方法构造任一 8 状态的卷积编码器,只需确定另外两位输出与输入的关系即输入、移位寄存器、加法器的连接;

(2)将构造好的卷积编码器改写为多项式表示;

(3)利用 MATLAB 中的 `istrellis` 函数验证格形合法性,若不合格,只需调整加法器的连接关系,然后再改写为多项式进行验证;

(4)验证通过后,画出状态分析图,写出映射方式。

3.3 TCM-8PSK 好码的构造

以 TCM-8PSK 好码的构造来说明上述方法的有效性。

第一步,画出一组编码器方框图,如图 4 所示。输出关系为: $c_1 = k_1 \oplus b_1$; $c_2 = k_2 \oplus b_1 \oplus b_3$; $c_3 = b_2$ 。

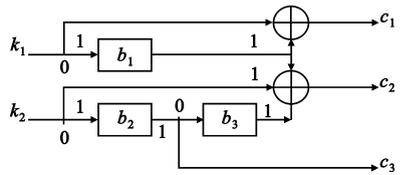


图 4 八状态编码器方框图
Fig.4 Block diagram of 8-state encoder

第二步,将方框图改写为多项式。如图 4 中所标示,改写的多项式为 $([2\ 3], [3\ 1\ 0; 0\ 5\ 2])$ 。

第三步,利用 `istrellis` 函数验证。在 MATLAB 命令窗口输入: `s = poly2trellis([2 3], [3 1 0; 0 5 2]); [isok, status] = istrellis(s)`。运行结果为: `isok = 1; status = ''`。验证为合法。

第四步,画出状态分析图,如图 5 所示。

$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$	$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$
00	000	000	000	00	001	000	010
01	000	010	010	01	001	010	000
10	000	100	100	10	001	100	110
11	000	110	110	11	001	110	100
$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$	$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$
00	010	001	001	00	011	001	011
01	010	011	011	01	011	011	001
10	010	101	101	10	011	101	111
11	010	111	111	11	011	111	101
$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$	$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$
00	100	000	110	00	101	000	100
01	100	010	100	01	101	010	110
10	100	100	010	10	101	100	000
11	100	110	000	11	101	110	010
$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$	$k_1 k_2$	当前状态	下一状态	$c_1 c_2 c_3$
00	110	001	111	00	111	001	101
01	110	011	101	01	111	011	111
10	110	101	011	10	111	101	001
11	110	111	001	11	111	111	011

图 5 状态分析图
Fig.5 State analysis

图 5 详细说明了整个编码器的过程,给出了在所有输入的情况下,当前状态、下一状态、输出的所有情况。从图中可以看出,从某一状态出发的所有转移属于同一组码,到达某一状态的所有转移也属于同一组码,因此根据图 2 中的集分割可以快速写出映射方式:000 对应 0,010 对应 4,100 对应 2,110

对应 6,001 对应 1,011 对应 5,101 对应 3,111 对应 7。此种编码直观上 $c_1 c_2$ 可能并没有体现选择星座图划分路径, c_3 也没有体现用于信号点的选定, 其实不然, 只需将输出位重新排放顺序就可以直观体现。例如, 将图 4 中 c_3 改为 c_1 , c_1 改为 c_2 , c_2 改为 c_3 即可, 改写后的输出仅仅是排列顺序的变化, 不破坏直观规则, 同时多项式的矩阵系数值不变, 仅进行列的对换, 因此也是合法的格形结构。改写后的映射方式变为: 000 对应 0, 001 对应 4, 010 对应 2, 011 对应 6, 100 对应 1, 101 对应 5, 110 对应 3, 111 对应 7。改写后的映射方式就在直观上体现了划分路径和信号点的选定过程。

4 结 论

通过 TCM-8PSK 好码的构造, 验证了本文介绍的编码方法的可行性。该方法的编码过程更为简单, 结构调整更为灵活, 并可快速写出映射方式, 具有很好的工程应用前景。本文仅用 8PSK 对编码方法进行了验证, 该方法对其它调制方式是否具有普遍性, 这将是进一步研究的课题。

参考文献:

- [1] Ungerboeck G. Channel Coding with Multilevel/Phase Signals [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1982, 28(1): 55-67.
- [2] 叶梧, 沈朝阳. 构造 TCM 好码的动态规划算法[J]. 通信学报, 1999, 20(10): 63-68.
YE Wu, SHEN Chao-yang. Dynamic Programming Algorithm for Constructing Trellis Modulation Optimum Codes [J]. Journal on Communications, 1999, 20(10): 63-68. (in Chinese)

- [3] 雷继岗. 网格编码调制技术的原理及应用[J]. 科技资讯, 2008(1): 95-96.
LEI Ji-gang. Theory and Application of Trellis Code Modulation Technology [J]. Science & Technology Information, 2008 (1): 95-96. (in Chinese)
- [4] 苏新光. 星载高速数传 TCM-8PSK 调制编码技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
SU Xin-guang. Technology research on high-speed data transfer TCM-8PSK coding and modulation on satellite [D]. Xi'an: Xidian University, 2008. (in Chinese)
- [5] 涂星星. 网格编码调制技术的 FPGA 实现 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
GAN Xing-xing. The Implementation of TCM Based on FPGA [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2007. (in Chinese)
- [6] 赵欢欢. 无线通信中的网格编码调制和 HARQ 技术研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
ZHAO Huan-huan. Research on Trellis-Code Modulation and HARQ Techniques in Wireless Communication [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007. (in Chinese)

作者简介:

张双雄(1986—), 男, 湖南永州人, 2009 年于华东交通大学获学士学位, 现为硕士研究生, 主要研究方向为无线通信;

ZHANG Shuang-xiong was born in Yongzhou, Hunan Province, in 1986. He received the B.S. degree from East China Jiaotong University in 2009. He is now a graduate student. His research concerns wireless communication.

Email: zhangsx0910@163.com

周俊(1963—), 男, 湖北宜昌人, 博士, 空军雷达学院教授, 主要研究方向为指挥控制技术与系统、信息系统集成。

ZHOU Jun was born in Yichang, Hubei Province, in 1963. He is now a professor with the Ph.D. degree. His research concerns command control technology and system, information system integration.

欢迎订阅全国中文核心期刊《电讯技术》

邮发代号: 62-39

全国各地邮局均可订阅!