

一种 N 维数据块正交调制及其解调识别方法的研究*

杨发权^{1,2}, 李 赞¹, 罗中良³, 李红艳¹, 赫本建¹, 高 锐¹

(1. 西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071;

2. 佛山科技学院电子与信息工程学院, 广东 佛山 528000;

3. 惠州学院电子科学系, 广东 惠州 516007)

摘 要: 提出一种 N 维数据块正交调制方法并对其调制解调识别方法进行研究。研究基于普通正交调制识别基础上, 从接收信号聚类样品中提取基本特征矢量以估计数据块信号参数实现数据块解调, 通过矩阵转换实现信号调制方式的识别, 在高斯白噪声信道条件下仿真结果表明该方法对 N 维数据块正交调制信号具有较好的识别性能。

关键词: N 维数据块正交调制; 聚类样品; 解调; 识别

中图分类号: TN 911 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2012) 03-0018-05

One Block Orthogonal Modulations of N -dimensional and Its Method Research of Demodulation Identification

YA Faquan^{1,2}, LI Zan¹, LUO Zhongliang³, LI Hongyan¹, HAO Benjian¹, GAO Rui¹

(1. State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xian 710071, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Foshan University, Foshan 528000, China;

3. Department of Electronic Science, Huizhou University, Huizhou 516007, China)

Abstract: One method of N -dimensional block orthogonal was presented and the research of demodulation identification method was made. Based-on ordinary orthogonal modulation recognition, the research realized data block demodulation from the received signal samples extracted basic feature vector to estimate the signal parameters and achieved recognition of signal modulation through the matrix conversion, The simulations results under the conditions of an additive Gauss white noise channel, show that the method has a good performance of recognition to signal of N -dimensional block orthogonal modulation;

Key words: block orthogonal modulations of N -dimensional; clustering example; demodulation; identification

普通正交调制 (general orthogonal modulations) 简称 GOM, 主要包括 4QAM、16QAM、64QAM、256QAM 等类型, 在数字调制技术中频带利用率很高, 调制方式非常灵活, 已广泛应用于各种数字信号的传输领域, 如数字卫星电视、数字电视、高速数据传输等领域, 因而 GOM 及其调制识别方法在

很多期刊杂志均有介绍^[1]。而本文论述的 N 维数据块正交调制目前在国内外期刊杂志中介绍得很少, 并且 N 维数据块正交调制和 GOM 比较, 频带利用率更高, 因此在频带资源有限情况下对 N 维数据块正交调制及其调制识别方法的研究更有实际意义^[2]。

* 收稿日期: 2011-10-18

基金项目: 国家科技重大专项资助项目 (2010ZX03006-002-04), 国家自然科学基金资助项目 (61072070), 教育部博士学科点基金资助项目 (20110203110011), ISN 国家重点实验室自主课题资助项目 (ISN1101002), 高等学校学科创新引智计划资助项目 (B08038), 广东省自然科学基金资助项目 (10151601501000005), 惠州市科技计划资助项目 (2010B020008011, 2010B020008016)

作者简介: 杨发权 (1965 年生), 男, 副教授, 博士研究生; E-mail: yafaquan.fosu@163.com

对于 GOM 信号的识别，需要从估测到的传输信号中提取特征信息，重建信号框架，由于 GOM 调制维数不高，需要的矢量数不多，因而采用星座图聚类特征识别分类和粒子群与减法聚类提取特征识别分类方法，效果较好，重建信号算法简单^[3]，但对 N 维数据块正交调制，信号框架有 2^N 个矢量，并且矢量数按指数方式增加，信号重建算法较复杂^[4]，为此本文提出提取基本矢量的一种新方法，对于 N 维数据块正交调制信号，基本矢量由 $N+1$ 个矢量组成，信号重建需要的矢量数、基本矢量数如下表 1 所示。

表 1 信号重建需要的矢量数、基本矢量数

Table 1 Numbers of vectors and basic vectors of need reconstruction signal

维数	矢量数	基本矢量数
3	8	4
4	16	5
...
7	128	8
N	2^N	$N+1$

从表 1 中可知当维数较大时，基本矢量数比矢量数小很多，因此采用基本矢量进行信号重建以达到解调识别目的，则计算复杂程度相比较要简单很多。

1 N 维数据块正交调制模型

N 维数据块正交调制与 GOM 比较，GOM 仅有两路信号进行正交调制叠加后传输，而 N 维数据块正交调制则是有 N 路数据（称 N 维数据块）分别与 N 个同频正交载波调制叠加后传输。随着维数 N 增大，对于 N 维数据块正交调制信号模型的数学描述比较困难，为此本文中的 N 维数据块正交调制可通过多维转动中的转换矩阵来表示，调制参数包括转动面和转动角度两个物理量^[5]。一个 N 维的信息矢量 \mathbf{S} 可表示为： $\mathbf{S} = [S_1, S_2, \dots, S_n, \dots, S_N]$ ，对于 Q 进制 $S_n = \pm d, \pm 3d, \dots, \pm(Q-1)d$ ， $n \in (1, 2, \dots, N)$ ，一个 N 维的数据块调制信号矢量 $\mathbf{C} = [C_1, C_2, \dots, C_N]$ 可定义为

$$\mathbf{C} = \mathbf{S}\mathbf{H} \quad (1)$$

其中 \mathbf{H} 是转换矩阵，它包括在多维空间连续转动信息，而多维空间的转动可通过转动矩阵 \mathbf{R} 和转换矩阵 \mathbf{H} 的内积来表示。定义在第 i 维与第 j 维之间的转动角用 θ_{ij} 表示，设 $i < j$ ，若 $\theta_{ij} = \alpha$ ，则转动矩

阵 \mathbf{R} 可表示为

$$\mathbf{R} = [\theta_{ij} = \alpha] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1N} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{N1} & r_{N2} & \cdots & r_{NN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $r_{ii} = r_{jj} = \cos \alpha, r_{ij} = -r_{ji} = -\sin \alpha, r_{kk} = 1 (k \neq i, j), r_{kl} = 0 (k \neq l)$

当经 L 次连续转动到时，转换矩阵可表示为

$$\mathbf{H} = R_L R_{L-1} R \cdots R_M \cdots R_2 R_1 E \quad (3)$$

其中 R_M 表示从第 i_M 维到第 j_M 维的转动矩阵，因此对于 N 维数据块正交调制可通过改变调制参数即改变转动面和转动角度来表示。对于三维数据块正交调制，设信息符号为二进制数据即 $Q = 2$ ，取 $S_n = \pm 1$ 根据以上定义可得到其星座图如图 1 所示，图中传输和接收的信号分别用白色的小圆圈和黑色点表示。

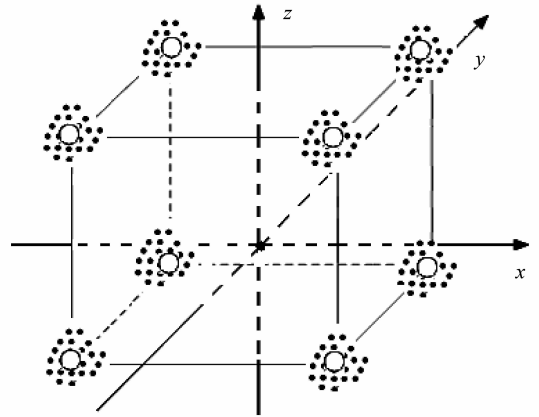


图 1 三维数据调制信号星座图

Fig. 1 Constellation of three-dimensional data modulation signal

2 N 维数据块正交调制解调识别原理

文中 N 维数据块正交调制解调识别原理方框图如图 2 所示。

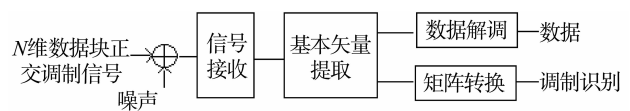


图 2 解调识别原理方框图

Fig. 2 Block diagram of demodulation recognition principle

发射机输出的数据块正交调制信号在信道中受到高斯白噪声干扰，在接收端，所有接收信号用来重建 N 维信号框架（聚类样品），再通过基本矢量估计和提取，分 2 路：一路送数据解调以解调恢复

数据, 另一路送矩阵转换以达到调制方式的识别目的^[6]。

在接收端并不是所有的接收信号都是用来提取基本矢量, 定义所有接收信号聚类样品用 \mathbf{Z} 表示, 用来提取基本矢量的信号聚类样品叫聚类目标样品用 \mathbf{Z}' 表示, 接收信号序列的初始矢量用 \mathbf{Z}_0 表示, 其它序列信号矢量用 $\mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2 \cdots \mathbf{Z}_{M-1}$ 表示, 其中 M 为总的接收信号聚类样品数目。以三维数据块正交调制空间为例, 所有接收信号聚类样品 \mathbf{Z} 、聚类目标样品 \mathbf{Z}' 、初始矢量用 \mathbf{Z}_0 及另外三个基本矢量如图 3 所示。

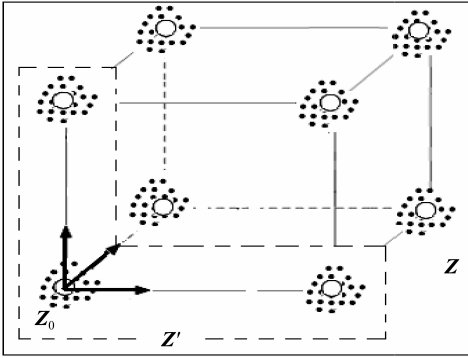


图 3 \mathbf{Z} 、 \mathbf{Z}' 、 \mathbf{Z}_0 及另外三个基本矢量图

Fig. 3 Map of \mathbf{Z} 、 \mathbf{Z}' 、 \mathbf{Z}_0 and the other three basic vector

聚类目标样品 \mathbf{Z}' 的选择很重要, 直接影响到基本矢量的提取, 从而影响到数据块调制信号的识别^[7-8], 下面分别论述聚类目标样品 \mathbf{Z}' 的选择、基本矢量的估计提取算法及调制识别的原理。

设初始矢量 \mathbf{Z}_0 与第 i 维矢量 \mathbf{Z}_i 之间夹角为

$$\theta_i = \arccos\left(\frac{\mathbf{Z}_0 \cdot \mathbf{Z}_i}{\|\mathbf{Z}_0\| \|\mathbf{Z}_i\|}\right) \quad (4)$$

其中 $\mathbf{Z}_0 \cdot \mathbf{Z}_i$ 为矢量 \mathbf{Z}_0 与 \mathbf{Z}_i 的内积, $\|\mathbf{Z}_0\|$ 和 $\|\mathbf{Z}_i\|$ 分别为 \mathbf{Z}_0 、 \mathbf{Z}_i 的模。

定义 θ_{ne} 和 θ_{op} 其中:

$$\theta_{ne} = \arccos\left(\frac{N-2}{N}\right) \quad (5)$$

$$\theta_{op} = \arccos\left(\frac{N-4}{N}\right) \quad (6)$$

选取 θ_{ne} 和 θ_{op} 的平均值作为判断阈值角

$$\theta_i = \frac{\theta_{ne} + \theta_{op}}{2} \quad (7)$$

若 θ_i 大于 θ_i , 则相对相邻的矢量, \mathbf{Z}_i 远离 \mathbf{Z}_0 , 所以 \mathbf{Z}_i 不属于聚类目标样品 \mathbf{Z}' , 只有当 θ_i 小于 θ_i 时 \mathbf{Z}_i 才属于聚类目标样品 \mathbf{Z}' 。

聚类目标样品 \mathbf{Z}' 集聚成 $N+1$ 组, 每组的中心

矢量分别用 c_1, c_2, \dots, c_{N+1} 表示, $N+1$ 个矢量中最靠近初始矢量 \mathbf{Z}_0 的矢量我们称为基本矢量的支点矢量, 用 c_p 表示, 这样得到估测的基本矢量为

$$e_i = c_j - c_p \quad (8)$$

其中 $j = 1, 2, \dots, N+1$, $c_j \neq c_p$, 估测到的基本矢量的性能与初始矢量 \mathbf{Z}_0 的选择有关, 为了提高基本矢量的估测性能, 我们用 c_p 代替 \mathbf{Z}_0 , 并且对 (4) - (7) 式采用迭代法计算处理^[9-11], 最终提取到符合要求的基本矢量。

根据共轭转换矩阵与基本矢量的关系: $\hat{\mathbf{H}} = [e_1 e_2 \cdots e_n]^T$ 和 (1) 式中 $\mathbf{C} = \mathbf{S}\mathbf{H}$ 便可估算出 N 维数据矢量, 从而实现 N 维数据块正交调制信号的解调和识别。

3 N 维数据块正交调制解调识别性能理论分析

N 维数据块正交调制识别性能可用识别率高低表示。

设 N 维的数据块调制信号传输矢量为

$$\mathbf{T} = [T_1, T_2, \dots, T_n, \dots, T_N] \quad (9)$$

其中:

$$T_n = md = \pm d, \pm 3d, \dots, \pm (Q-1)d, \\ n \in (1, 2, \dots, N)$$

噪声矢量为: $\mathbf{N} = [N_1, N_2, \dots, N_N]$

若接收信号总矢量为: $\mathbf{Y} = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]$, 则接收信号总矢量为

$$\mathbf{Y} = \mathbf{T} + \mathbf{N} \quad (10)$$

在接收端, 信号的识别率 p 由接收信号矢量 \mathbf{Y} 在提取的基本矢量 (设为 \mathbf{Z}_1) 上的投影 y_1 来决定, 则在发送 N 维的数据块调制信号 $T_1 = md$ 时, 理论上识别率为: y_1 处于 $(m-1)d$ 与 $(m+1)d$ 之间的概率^[12-13], 即

$$p = \text{proble}[(m-1)d < y_1 < (m+1)d] \quad (11)$$

定义: $(m-1)d$ 与 $(m+1)d$ 之间范围用 L 表示, 考虑噪声对接收信号和提取的基本矢量的影响, 信号的识别率应该由用转动矩阵 \mathbf{R} 对接收信号进行变换后再在无误差的基本矢量轴 (设为 X 轴) 上的投影分量来决定^[14]。而该投影分量为

$$y_{1x} = \mathbf{R}(\mathbf{T} + \mathbf{N}) \cdot (1, 0, \dots, 0) = \\ (\mathbf{R}\mathbf{T} + \mathbf{R}\mathbf{N}) \cdot (1, 0, \dots, 0) = f(\theta) + n_1 \quad (12)$$

其中: $f(\theta) = \mathbf{R}\mathbf{Z} \cdot (1, 0, \dots, 0)$, $\theta = (\dots, \theta_{ij}, \dots)$, n_1 是一维均值为 0, 方差为 σ^2 高斯白噪声, 因此理论上在发送 N 维的数据块调制信号 $T_1 = md$ 时, 理想的识别率为

$$p = \int_L \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp - \frac{[y_{1X} - f(\theta)]^2}{2\sigma^2} dy_{1X} \quad (13)$$

4 仿真结果及其性能分析

我们用本文提出的算法对 N 维数据块正交调制信号的识别用 MATLAB 做仿真实验。仿真参数及条件为：载波频率 $f_c = 150$ kHz，采样速率 $f_s = 1\ 200$ kHz，符号率 $R_b = 12.5$ kb/s，ASK 的调制系数选为 0.8，每个识别样本采用 2 048 个样点，使用随机序列作为调制信号，实验次数取 1 000 次，环境为理想加性高斯白噪声信道，信噪比取 5 ~ 10 dB。

采用基本矢量算法和采用全部接收信号矢量进行调制识别相比较，识别所用的时间与维数之间的关系仿真结果如下表 2 所示。

表 2 计算复杂程度仿真比较

Table 2 Simulation comparison of computational complexity degree

计算时间/s	3 维	4 维	5 维	6 维	7 维	8 维
用原矢量	0.1	0.20	11.11	47.22	166.67	861.11
用基本矢量	0.01	0.21	5.55	19.44	80.55	394.44

由表 2 知随着维数的增大，采用基本矢量算法和采用全部接收信号矢量进行调制识别相比较，所用的时间相对越来越少，所以文中采用的算法使数据块调制的解调和识别计算复杂程度大为减低。

对于 N 维数据块正交调制，由表 1 知：接收端重建信号样品框架需 2^N 个矢量数，为此取接收聚类样品数目 $M = 80 \times 2^N$ ，当 N 分别取 3、4、5、6、7 时，对应的聚类样品数目 M 应分别为 640、1 280、2 560、5 120、10 240，在信噪比分别为 5 dB、10 dB 时，识别率与迭代次数 λ 之间关系仿真结果如图 5 所示。

从图 5 知：①当信噪比为 5 dB，迭代次数 λ 小于 4 次时，维数 N 越高识别率越低，这是由于迭代次数不够，基本矢量估计不准确，识别率相对低些，并且随着维数 N 越高，识别率越来越低。但当迭代次数 λ 等于 4 次时，识别率以达 98% 以上，当迭代次数 λ 大于 4 次时，基本矢量估计提取误差很小并且基本稳定，因此，在 N 分别取 3、4、5、6、7 情况下，识别率大体相等并且维持在 98% 以上。②当信噪比为 10 dB 时，迭代次数 λ 小于 4 次时，和接收信噪比为 5 dB 情况同理，维数 N 越高识别率越低，但当迭代次数 λ 等于 3 次时，识别率就可以达到 99% 以上，当迭代次数 λ 大于 4

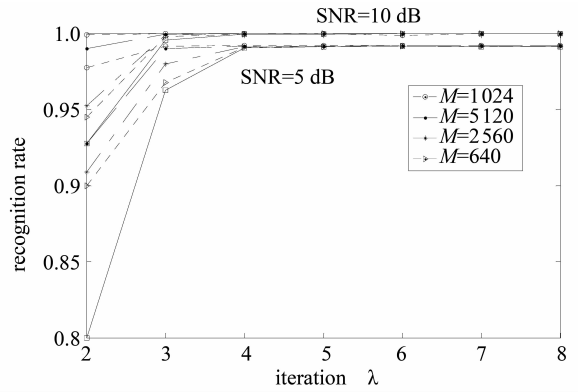


图 5 识别率与迭代次数 λ 之间关系图

Fig. 5 Relationship map between recognition rate and the numbers of iterations λ

次时，在 N 分别取 3、4、5、6、7 情况下，识别率大体相等并且大约等于 1。

当维数 N 分别取 3 维和 7 维时， N 维数据块正交调制信号的识别率与输入信噪比之间关系如图 6 所示。

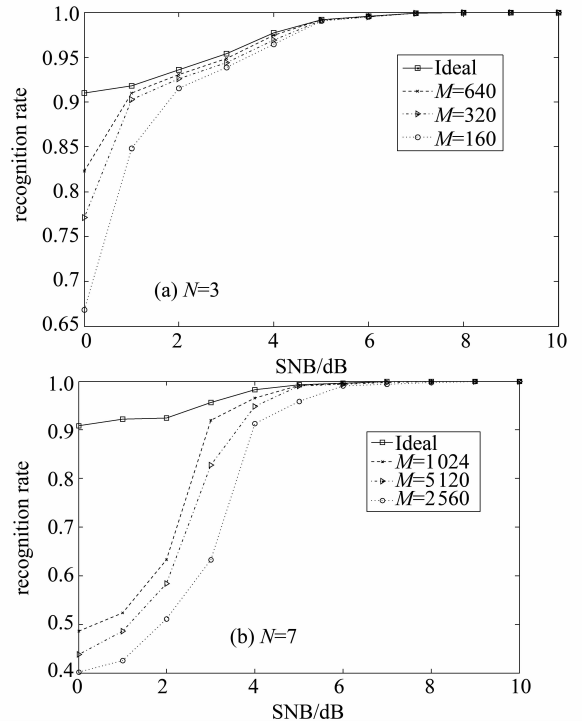


图 6 识别率与输入信噪比之间关系

Fig. 6 Relationship between recognition rate and the input SNR

两图比较知：①在接收聚类样品数目 M 、迭代次数 λ 、在信噪比相同情况下，维数 $N = 3$ 时的识别率比维数 $N = 7$ 时的识别率高。②在信噪比大于 4 dB 时识别率可达到 90% 以上，其中在 $N = 3$

维时识别率可达到 95% 以上; 在信噪声比为 5 dB, $N=3$ 维及信噪声比为 6 dB, $N=7$ 维时, 识别率已非常逼近相对应的理论值并且接近 100%, 可见, 本文提出的识别方法, 性能较好。

5 结 论

文中提出 N 维数据块正交调制方法, 并对其调制解调识别方法进行研究。在普通正交调制基础上, 通过从接收信号矢量序列中选择聚类目标样品, 采用聚类迭代算法, 提取基本矢量, 可用于高维正交数据块解调和调制识别, 数据块正交调制识别性能即识别率的高低与维数 N 、接收聚类样品数目 M 、迭代次数 λ 、输入信噪比等因素有关, 随着接收信号矢量数目的增加, 通过聚类迭代, 识别率大为提高, 并逐渐接近理想状况, 当信噪声比为 4 dB 时识别率可达到 90% 以上, 当信噪声比为 6 dB, 识别率可达到近 100%, 同时计算复杂程度和采用全部接收信号矢量识别相比大为减少。

参考文献:

- [1] XI J X, WANG Z X. MQAM modulation scheme recognition using Hilbert transform[J]. Journal on Communication, 2007, 28(6):320-325.
- [2] KATAYAMA T, OKA I, ATA S. Modulation identification by general orthogonal modulations[C] // Proceedings of the 2008 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2008), 2008:12-15.
- [3] 乔纪纲. 基于像元信息分解的城市绿地信息自动提取系统[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2008, 47(3):133-136.
- [4] YAMAMOTO T, OKA I, ATA S. Clustering and labeling of orthogonal signals for modulation identifications[C] // Proceedings of the 2008 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA 2008), 2008, 65-69.
- [5] 熊会元, 宗志坚, 余志, 等. 基于凸包的棋盘格角点自动识别与定位方法[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2009, 48(1):1-5.
- [6] 侯健, 王华奎. 一种基于星座图聚类的 MQAM 识别方法[J]. 无线电通信技术, 2009(3):35-38.
- [7] 张广驰, 江艳敏, 秦家银. OFDM 系统中基于有限反馈的余量自适应比特加载[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2009, 48(5):38-41.
- [8] OKA I, FOSSORIER M P C. A general orthogonal modulation model for software radios[J]. IEEE Transaction on Communications, 2009, 54(10):7-12.
- [9] LONG C, CHUGG K, POLYDOROS A. Further results in likelihood classification of QAM signals[J]. in Proc IEEE Milcom, 2008, 94(25):57-61.
- [10] 罗中良, 余剑锋. 基于多传感器的神经网络模式识别方法[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2001, 41(5):21-24.
- [11] 罗中良, 施仁. 神经网络用于产品品质鉴定的新方法[J]. 兰州大学学报, 2001, 39(4):55-59.
- [12] XU Zhinan, BAI Wenle. A novel blind recognition algorithm for modulated m-QAM signals[C] // Communications and Mobile Computing of the 2010 International Conference, 2010:461-465.
- [13] 于志明. 无线通信系统中的信号识别技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2010.
- [14] 甘露. 通信信号测向与分析技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2009.