

一种新的 MM-aryM 编码结构和解调方法

朱有团 朱近康

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系 合肥 230027)

摘要: 该文在研究多重准正交扩频码组构造方法的基础上,提出了构造多重准正交扩频码组的改进方法,提出了基于位置映射的一种新的调制结构和解调方法。采用新的码字分组方法和位置映射,将准正交码字的解调变成正交码字解调的组合,从而获得较好的解调性能。分析和仿真表明该方法可以明显减小接收端的计算复杂度,并且可以提高信息传送速率,降低误码率。

关键词: 多重 M-ary 并行调制, 多重准正交扩频码组, 位置映射

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)09-1450-04

A New MM-aryM Coded Construction and Demodulation Scheme

Zhu You-tuan Zhu Jin-kang

(Department of Electronic Engineering, Univ. of Sci. & Tech. of China, Hefei 230027, China)

Abstract In this paper, an improved method of constructing multiple quasi-orthogonal spreading codes and a new modulation and demodulation scheme based on position mapping are proposed on the research of methods of constructing multiple quasi-orthogonal codes. using new method of codes grouping and position mapping, and making the demodulating of the quasi-orthogonal branches into the combination of demodulating of orthogonal sequences codes, that will obtain better demodulation performance. Analysis and simulation prove that this scheme can reduce obviously the computer complexity in the receiver side. It will increase transmission speed of information and reduce bit error probability.

Key words MM-aryM, Multiple quasi-orthogonal spreading codes, Position mapping

1 引言

随着移动通信技术的不断发展,对传输速率提出了越来越高的要求。在高速数据传输的研究中, M-ary 调制方式以其自身的优点与不同通信方式的结合成为一个研究的热点。例如,文献[1]提出了一种 M-ary 和多载波结合的扩频通信方式;文献[2]是一种 M-ary 和跳频结合的扩频多址通信系统;文献[3]是一种 M-ary 应用于 UWB 的通信方式。为了实现高速数据传输和提高频谱利用率,把常用的数据调制方法与 M-ary 调制通信方式结合,提出了多重 M-ary 并行调制通信方式(Multiple M-ary parallel Modulation communications),简称 MM-aryM 通信方式。MM-aryM 通信方式是一种新的支持高速数据传输的调制方法,它在 M-ary 的基础上引入了分组和 QAM 高阶调制处理,把高速传输和节省功率节省带宽技术结合起来,提高频谱利用率,支持多用户,具有 M-ary 和 QAM 调制的优点。本文在研究多重准正交扩频码组构造方法的基础上,提出了构造多重准正交扩频码组的改进方法,提出了基于位置映射的一种新的调制结构和解调方法。采用

新的码字分组方法和位置映射,将准正交码字的解调变成正交码字解调的组合,从而获得较好的解调性能。分析和仿真表明该方法可以明显减小接收端的计算复杂度,并且可以提高信息传送速率,降低误码率。

本文第2节介绍了 MM-aryM 通信系统方式;第3节提出了构造多重准正交扩频码组的改进方法;第4节提出了针对多重准正交码组,基于位置映射的调制和解调方法;第5节为仿真结果,给出了这种调制解调方法的性能;最后给出了结论。

2 MM-aryM 通信系统方式

M-ary 调制方式是 CDMA 扩频通信的一种有效方式,对功率受限和宽带系统的通信特别有利^[4]。其原理是使用 M 个扩频码,按发送数据不同选取其中一个码将发送数据调制后发送,一次发送选取 M 个码中的一个,故可传送 $\log_2 M$ bit,由于成对数关系,随着 M 的增长,可传送的比特数增长会逐渐减慢。BPSK, QPSK 直至 QAM 是数据通信常用的调制方

法,但仅仅依靠调制状态数的增加来增大传输速率,其可传送的比特数增长同样会逐渐减慢。MM-aryM 正是结合这两种调制方法以及分组思想,使得传输可用的状态数成乘法增长,从而有效地提高传输速率。MM-aryM 通信系统的发送结构如图 1 所示。

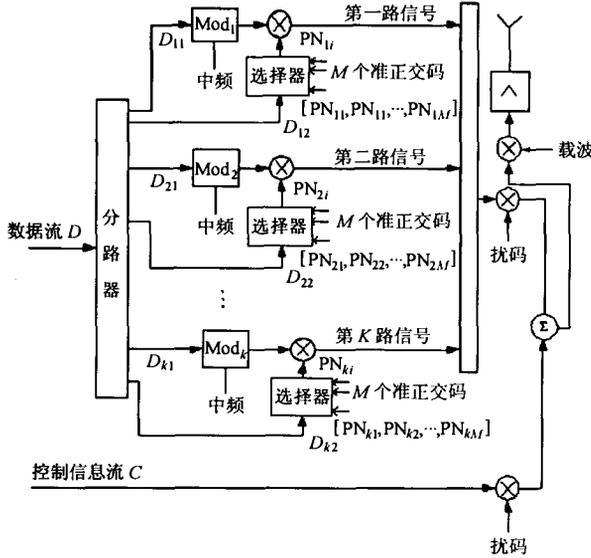


图 1 MM-aryM 通信方式的发送框图

图中, $D_{i1}(i=1,2,\dots,k)$ 第 i 路的调制数据,取决于 Mod_i 的数据调制方式,如调制方式为 QPSK,则 D_{i1} 为 2bit; D_{i2} 是一路 M-ary 传输数据,决定于 M 的大小,如 $M=16$,则为 4bit。

一个 MM-aryM 方法调制的 symbol 可传送的 bit 数为

$$K(\log_2 M + \log_2 Q) \quad (1)$$

其中 K 是支路数, M 是 M-ary 的码字数, Q 是 QPSK, QAM 的可用状态数。整个 MM-aryM 通信系统所需的码字数为 KM ,才会彼此互不冲突。由式(1)可见在每个支路 M-ary 码字数固定的情况下,增加可用码字数进而采用更多的支路是 MM-aryM 提高传输速率的关键。但从编码角度看,码长为 N 时最多只能构造出 N 个正交的序列。因此,为了进一步提高传输速率,我们采用了多重准正交扩频码组来增加可用码字数。

3 构造多重准正交扩频码组的改进方法

在 MM-aryM 通信方式中,扩频码集的可用码字的数量成为了决定数据传输速率的关键因素。若采用传统的 Walsh-Hadamard 正交码构造方法,则在码长为 N 的前提下,只能产生 N 个可用码字。为了尽可能的增大可用码字集,从而提高数据传输速率,我们采用文献[5]的准正交扩频码组构造方式。这种构造扩频序列集合的方法如下:

$$w_{2i-1} = h_i \quad (2)$$

$$w_{2i} = \frac{1}{2} \sum_{k=i}^{i+3} h_k, \quad i=1,\dots,N-3 \quad (3)$$

$$w_{2N-6+i} = h_{N-3+i}, \quad i=1,2,3 \quad (4)$$

其中 h_i 是码长为 N 的 Walsh-Hadamard 矩阵 H_N 的第 i 个向量。新的扩频序列共有 $2N-3$ 个。采用这种方法构造出的码字具有较好的准正交特性。这些新构造出的扩频序列在相邻的几个码字内具有一定的相关性,而之外的码字是正交的,相关矩阵是准对角阵。码组中的最小码距变小,但是码组序列增加了近一倍。

这里,我们提出一种多重准正交扩频码组构造方法,是上述方法的一种改进。通过对式(3)中的 h_k 类推到任意 4 个序列,我们发现 Walsh-Hadamard 正交码字中的任意四个序列组合出的内插序列:

$$w_{inset} = \frac{1}{2}(h_i + h_j + h_k + h_l) \quad (5)$$

都具有码字间的最小欧氏距离保持不变的特性。容易证明, N 个正交的 Walsh 序列构成码字空间的正交基,构成两个内插序列的 4 个序列差异越大码距也越大,极端情况是分别构成两个内插序列的 4 个序列中有 3 个是相同的,这时码字间欧氏距离是:

$$D_{min} = \left\| \frac{1}{2}(h_i - h_j) \right\| = \frac{1}{2} \sqrt{2N} \quad (6)$$

这和原方法的码字间最小欧氏距离一样,都是正交 Walsh 序列间欧氏距离的 1/2。这种改进方法构造出的内插码字数为 $\binom{N}{4}$,加上 N 个正交的 Walsh 序列,总码字数为 $\binom{N}{4} + N$,在 $N > 4$ 时可用码字数大大的增加,这是由于式(3)和式(5)构造出的码字都是多值的,并且改进方法突破了原方法只选取相邻 Walsh 序列的限制。改进的码组构造方法和原方法的码字总数比较如表 1 所示。

改进方法构造的码字的最小码距仍为正交 Walsh 序列的 1/2,码组数目大大增加,可以提高传输速率,但抗干扰性能会下降,为了获得较好的性能,接收端就需要采用计算复杂度大的较优解调方法。为了降低解调调计算复杂度,基于改进的码组构造方法,我们提出了基于位置映射的 MM-aryM 调制和解调方法。

表 1 改进方法和原方法的总码字数比较

码 长	8	16	32	64
原方法的码字总数	13	29	61	125
改进方法的码字总数	78	1836	35992	635440

4 位置映射的调制和解调方法

由于构造的码组是非正交的码字，正交相关性能较差，直接用所有序列做相关解调是不太好的方法，可以采用 k bit 数据，则解调的复杂度是 $O(2^k)$ 。这在实际的系统中难以应用。

为了实现低复杂度的解调，根据新的码组构造方法：式(5)中内插码字的产生方法，可知每一个内插的码字可以在对应生成该码字的 4 个 Walsh 序列上检测到半相关峰。利用这个特点，我们可以利用正交的 Walsh 序列的相关值的位置关系来检测这些内插码字。要正确区分多路并实现 QPSK 解调，就不能使得码字间对应的 Walsh 序列重合。为此我们采用新的分组方法，将正交的 Walsh 序列构成正交支路，正交的支路经过 MM-aryM 调制后，未选中的序列构成剩余码组，根据定义的数据比特到剩余码组位置的映射关系，分别选出 4 个序列构成内插支路的码字，实现内插支路的 MM-aryM 调制。这样在解调端可以通过和 N 个 Walsh 序列做相关，每个正交支路选择其对应的 Walsh 码字中相关值最大的，就可以实现解调(码字的位置可以实现 M-ary 解调，相关值可以实现 QPSK 解调)。在除去正交支路后选择的码字，余下的 Walsh 序列的相关值根据序列先后的重新排列形成剩余序列相关值，找出其中最大的 $4K(K$ 为内插的支路数)个相关值对应的序列，这 $4K$ 个序列在剩余序列中的位置，根据调制时的位置映射关系就可以解出正交支路码字，实现 M-ary 解调，4 个相关的码字相关值之和就可以实现该内插支路的 QPSK 调制。最后串行输出解调结果。

这种基于位置映射的 MM-aryM 的解调过程，比较 MLSE 解调方法，计算复杂度有了很大的降低。下面以码长为 8 的 MM-aryM 系统为例，解释基于位置映射的内插支路 MM-aryM 调制和解调过程。

如图 2，将 8 个 Walsh 码字分成两个支路，每个支路为 4 个正交码字。现在我们先调制这两个正交支路(假定当前分别选择了为 Walsh 序列 2 和 4)，并分别调制了 QPSK 数据，然后除去这两个正交支路已经选择的两个序列，则还有 6 个序列(Walsh 序列 0, 1, 3, 5, 6, 7)构成剩余码组，这 6 个序列中可以构造 $\binom{6}{4} = 15$ 个内插码字序列。我们选择其中 8 个码字，调制 3bit 数据，这时数据 bit 到选择的 4 个码字的位置映射关系如表 1，根据表 1 的位置对应的剩余序列用式(5)就可以产生内插的支路码字，再调制 QPSK 数据，完成了

MLSE(最大似然序列估计)的方法来构造所有可能的发送序列，比较似然值，实现解调。这种最优的 MLSE 解调可以获得很好的性能，但计算复杂度很大。如果一个 symbol 调制

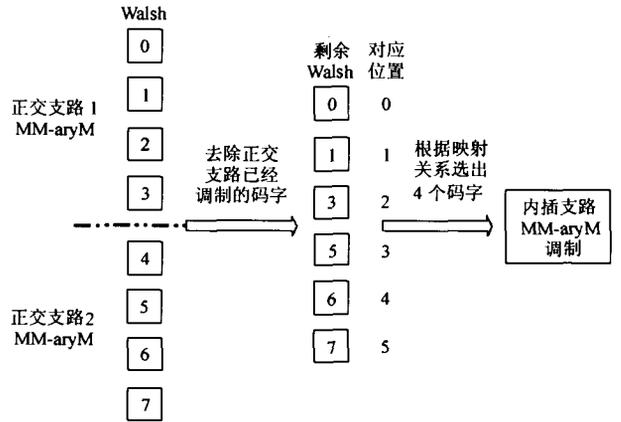


图 2 码长为 8 的基于位置映射的 MM-aryM 调制过程示意

码长为 8 的基于位置映射 MM-aryM 的解调过程如图 3 所示。图 3①分别是 8 个 Walsh 序列对应的相关器，②是从支路 4 个 Walsh 序列相关值选出最大值，最大相关值对应的序列实现 M-ary 解调，相关值实现 QPSK 解调，③是 2 个正交支路解调后，除去各支路最大值剩余的 6 个相关值，根据对应的 Walsh 序列顺序的排序，并选择相关值最大的 4 个相关值，④是根据③中选出的 4 个相关值对应的位置，由位置映射表可得对应的 bit，⑤是③中选出的 4 个序列相关值之和实现 QPSK 解调，⑥串行输出 bit 数据，完成本 symbol 的解调。在解调端的位置到数据的映射表要考虑所有可能的 15 个位置状态，根据误码率最小的原则映射到发送端选中的 8 个位置状态。

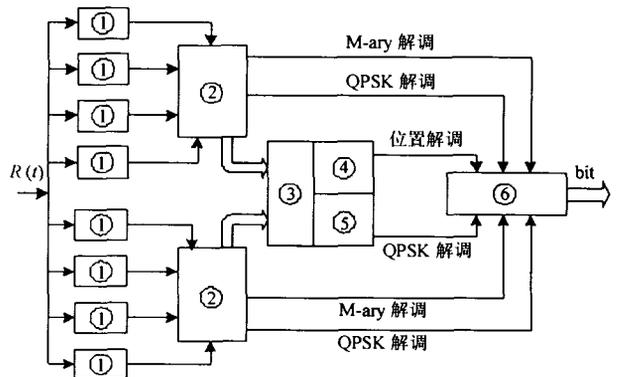


图 3 码长为 8 的基于位置映射的 MM-aryM 解调过程

5 仿真结果

我们的仿真采用码长为 8，载波频率是 2.0GHz，码片速率是 3.84M 码片/秒。采样率是 1 个样点/码片。MM-aryM 调制中，每个支路 4 个码字。图 4 描绘了高斯白噪声信道下

一个 symbol 的调制过程。

表 2 码长为 8 的数据 bit 到码字位置映射表

数据 bit	000	001	010	011	100	101	110	111
码字位置	0,1,3,4	0,1,3,5	0,1,4,5	0,2,3,4	0,2,3,5	0,2,4,5	1,2,3,4	1,2,3,5

3 支路 MM-aryM(QPSK 调制)的性能仿真结果和 QPSK 的理论值的性能比较。图中(新)是采用新的基于位置映射的调制和解调方法(如图 2 和图 3, 内插码字支路选择 8 个码字), (旧)是采用 MLSE 解调方法(3 个支路均为 4 个码字, 并采用码距最优分组)。

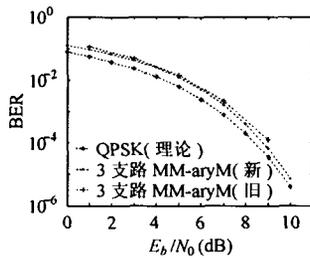


图 4 高斯白噪声信道下 3 路 MM-aryM 的 QPSK 调制的性能仿真结果和 QPSK 理论值的性能比较

由图 4 可见, 在高斯白噪声信道下, 新的基于位置映射的 MM-aryM 系统在大大减小计算复杂度的同时, 误码性能也有一定的提高。误码性能的改善首先是因为扩展后的码序列比文献[5]中的多了, 并且采用了位置映射的调制解调方案可以较充分的利用这些码字; 即改进后的方法可以在 1 个码元符号内发送个更多的比特数, 因此在一定的 E_b/N_0 下, 基于位置映射的改进可以获得更大的发送功率, 从而提高误码性能。

6 结束语

多重 M-ary 并行调制通信方式是一种新的支持高速数据传输的调制方法。本文在研究多重准正交扩频码组构造方法的基础上, 提出了构造多重准正交扩频码组的改进方法, 提

出了基于位置映射的一种新的调制结构和解调方法。采用新的码字分组方法和位置映射, 将准正交码字的解调变成正交码字解调的组合, 从而获得较好的解调性能。分析和仿真表明该方法可以明显减小接收端的计算复杂度, 提高了系统的可实现性, 并且可以提高信息传送速率, 降低误码率。

参考文献

- [1] Wen Lin, Zhu Jinkang, Costa E, Weckerle M. M-ary MC CDMA in uplink for next generation mobile communication. *IEEE VTC 2003 - Fall, Orlando, 2003*: 2526 - 2530.
- [2] Cho Joonyoung, Kim Youhan, Cheun Kyungwhoon. A novel frequency-hopping spread-spectrum multiple-access network using M-ary orthogonal Walsh sequence keying. *IEEE Trans. on Communications*, 2003, 51(11): 1885 - 1896.
- [3] Eshima K, Hase Y, Oomori S, Takahashi F, Kohno R. M-ary UWB system using Walsh codes. *IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies*. Baltimore, 21 - 23 May 2002: 37 - 40.
- [4] Rappaport S Theodore. *Wireless Communications Principles and Practice (Second Edition)*. Prentice-Hall PTR, 2002: 255 - 350.
- [5] Shi Z N, Schlegel C. Spread Code Construction for CDMA. *IEEE Communications Letters*, 2003, 7(1): 4 - 6.

朱有团: 男, 1979 年生, 硕士生, 研究方向为移动通信、接收解调方式。

朱近康: 男, 1943 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为扩频通信、个人通信、移动通信、无线通信。