

变重光正交码的构造及其可调光编 解码器^{*}

殷洪玺 张光昭

杨淑雯

(中山大学无线电电子学系, 广州 510275) (深圳大学新技术研究中心)

摘 要 介绍了变重光正交码的定义及其构造方法,给出了码字的构造结果,并提出了可调变重光正交码编 解码器的实现方法. 这种编 解码器适用于大容量的全光码分复用通信系统.

关键词 变重光正交码, 码分复用, 可调光编 解码器

分类号 TN 911. 22

光码分复用 (OCDM) 技术适合于超高速、业务突发性可变的光纤网络, 它允许多个用户同时访问公共信道, 无需预约等待和网络同步, 通过光编 解码实现光波的复用, 无需交换, 从而实现全光通信, 克服了目前光纤网络中由于在复用 交换等环节存在多个电子节点带来的在带宽上的“瓶颈”效应, 使数据的传输速率可达 $\sim Tb/s^{[1]}$ 的数量级.

在光码分复用通信系统中, 由于多个用户同时占用信道, 在存在多址干扰的情况下, 为了使接收机能正确地识别信息, 需要选择相关性好的码字来作为用户的地址码. 80年代末由 Salehi 等^[2]提出的光正交码, 实际上是等重光正交码. 文献 [3] 对 Salehi 等提出的光正交码的定义进行推广, 提出了变重光正交码, 使码字容量有较大增加. 本文根据文献中的方法构造出了若干变重光正交码.

光编 解码器是实现全光码分复用通信的关键技术之一. 1个用户在不同的时间里要与不同的用户进行通信, 要求光地址码产生器产生的地址码是可变的. 迄今为止, 关于可调变重光正交码编 解码器的实现方法, 国际上还未见有人提出. 为此, 本文提出了可调变重光正交码编 解码器的实现方法. 这种编 解码器适用于大容量的全光码分复用通信系统, 具有广阔的应用前景.

1 变重光正交码及其构造方法^[3]

1.1 变重光正交码的定义

1个 (n, W, L, λ_c, Q) 变重光正交码 C 是满足如下 3个性质的二进制 n 位切普的 1个集合:

重量分布: C 中的每 1个 n 位切普有 1个包含在集合 W 中的汉明重, 而且有 $q_i \mid |C|$ 个重量为 w_i 的码字, 即 q_i 表示重量为 w_i 的码字数占总容量的比数, $|C|$ 为码的容量;

^{*} 国家自然科学基金 (69672040) 资助项目

收稿日期: 1997-05-29 殷洪玺, 男, 37岁, 讲师

自相关限制: 对于任意汉明重为 $w_i \in W$ 的任 1 个码字 $X = (x_0, x_1, \dots, x_{n-1}) \in C$ 和任意整数 $f (1 \leq f \leq n-1)$, 有 $\sum_{i=0}^{n-1} x_i x_{i+f} \leq \lambda_a^i$.

互相关限制: 对于任意码字 $X = (x_0, x_1, \dots, x_{n-1}) \in C$ 和 $Y = (y_0, y_1, \dots, y_{n-1}) \in C$, $X \neq Y$ 及任意整数 $f (1 \leq f \leq n-1)$, 有 $\sum_{i=0}^{n-1} x_i x_{i+f} \leq \lambda_c$.

这里的下标“ $\oplus$ ”表示模 n 加, W, L 和 Q 分别表示集合 $\{w_0, w_1, \dots, w_p\}, \{\lambda_a^0, \lambda_a^1, \dots, \lambda_a^p\}$ 和 $\{q_0, q_1, \dots, q_p\}$.

1.2 变重光正交码的构造

(1) 1 个 w 为奇数的 $\left[n, \{w+1, w\}, \{1, 1\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right]$ 光正交码的构造方法.

设 $w = 2m+1, n = (w+1)wt_0 + w(w-1)t_1 + 1$ 为素数, 若用 r 表示 t_0 和 t_1 的最大公约数, T 是域 $GF(n)$ 的 1 个本原元, 下列式

$$\begin{cases} \log[\mathbb{T}_j(\mathbb{T}^{(k-1)t_0^{+}(k-1)t_1^k} - 1)] : 1 \leq k \leq m, j = 0, \dots, (t_1/r) - 1 \\ \log[\mathbb{T}_l(\mathbb{T}^{(k-1)t_0^{+}(k-1)t_1^k} - 1)] : 1 \leq k \leq m, l = 0, \dots, (t_0/r) - 1 \\ z_l : l = 0, 1, \dots, (t_0/r) - 1 \end{cases}$$

取模 $((m+1)t_0 + mt_1)/r$ 互不相同, 这里 x_j 和 z_l 是从 0 到 $(m+1)t_0 + mt_1 - 1$ 之间的整数, 则如下区组

$$\begin{aligned} & \left\{ [0, \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+z_l}, \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+z_l+(2m-2)t_0^{+}2mt_1}, \dots, \right. \\ & \left. \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+z_l+(2m-2)2mt_0^{+}4m^2t_1} : i = 0, 1, \dots, r-1, l = 0, 1, \dots, (t_0/r) - 1 \right\} \\ \text{和} & \left\{ [\mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+x_j}, \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+x_j+(2m-2)t_0^{+}2mt_1}, \dots, \right. \\ & \left. \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+x_j+(2m-2)2mt_0^{+}4m^2t_1} : i = 0, 1, \dots, r-1, l = 0, 1, \dots, (t_0/r) - 1 \right\} \end{aligned}$$

即构成 1 个 $\left[n, \{w+1, w\}, \{1, 1\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right]$ 光正交码.

由此构造法构造出的一些变重对称 ($\lambda_a^0 = \lambda_a^1 = \lambda_c$) 光正交码的结果如表 1 所示. 其中

$q_0 = \frac{t_0}{t_0+t_1}, q_1 = \frac{t_1}{t_0+t_1}$, t_0 和 t_1 分别表示码重为 $w+1$ 和 w 的码字数.

(2) 1 个 w 为偶数的 $\left[n, \{w+1, w\}, \{2, 2\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right]$ 光正交码的构造方法.

设 $w = 2m, n = [(w+1)^2 - 1]/2t_0 + w^2/t_1 + 1$ 为素数, 若用 r 表示 t_0 和 t_1 的最大公约数, T 是域 $GF(n)$ 的 1 个本原元, 下列式

$$\begin{cases} \log[\mathbb{T}_j(\mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^k} - 1)] : 1 \leq k \leq m, j = 0, \dots, (t_1/r) - 1 \\ \log[\mathbb{T}_l(\mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^k} - 1)] : 1 \leq k \leq m, l = 0, \dots, (t_0/r) - 1 \\ z_l : l = 0, 1, \dots, (t_0/r) - 1 \end{cases}$$

取模 $((m+1)t_0 + mt_1)/r$ 互不相同, 这里 x_j 和 z_l 是从 0 到 $(m+1)t_0 + mt_1 - 1$ 之间的整数, 则如下区组

$$\begin{aligned} & \left\{ [0, \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+z_l}, \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+z_l+(m+1)t_0^{+}mt_1}, \dots, \right. \\ & \left. \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+z_l+(m+1)(2m-1)t_0^{+}m(2m-1)t_1} : i = 0, 1, \dots, r-1, l = 0, 1, \dots, (t_0/r) - 1 \right\} \\ \text{和} & \left\{ [\mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+x_j}, \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+x_j+(m+1)t_0^{+}mt_1}, \dots, \right. \\ & \left. \mathbb{T}^{(m+1)t_0^{+}mt_1^{+}}]_{i/r+x_j+(m+1)(2m-1)t_0^{+}m(2m-1)t_1} : i = 0, 1, \dots, r-1, l = 0, 1, \dots, (t_0/r) - 1 \right\} \end{aligned}$$

即构成 1 个 $\left\{ n, \{w+1, w\}, \{2, 2\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right\}$ 光正交码.

由此构造法构造出一些变重非对称 ($\lambda_a^0 = \lambda_a^1 \neq \lambda_c$) 光正交码的结果如表 2 所示.

表 1 $\left\{ n, \{w+1, w\}, \{1, 1\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right\}$ 光正交码
Tab. 1 $\left\{ n, \{w+1, w\}, \{1, 1\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right\}$ optical orthogonal codes

$\left\{ n, \{w+1, w\}, \{1, 1\}, 1, \{q_0, q_0\} \right\}$	t_0	t_1	T	x_0	x_1	z_0	C
$(109, \{4, 3\}, \{1, 1\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	6	6	6	2	-	0	$\{0\} \cup \{6^{3+36k} 0 \leq k \leq 2\},$ $\{6^{3+2+36k} 0 \leq k \leq 2\}, 0 \leq i \leq 5\}$
$(127, \{4, 3\}, \{1, 1\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	7	7	3	2	-	0	$\{0\} \cup \{3^{3+42k} 0 \leq k \leq 2\},$ $\{3^{3+2+42k} 0 \leq k \leq 2\}, 0 \leq i \leq 6\}$
$(163, \{4, 3\}, \{1, 1\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	9	9	2	1	-	0	$\{0\} \cup \{2^{3+54k} 0 \leq k \leq 2\},$ $\{2^{3+1+54k} 0 \leq k \leq 2\}, 0 \leq i \leq 8\}$
$(199, \{4, 3\}, \{1, 1\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	11	11	3	2	-	0	$\{0\} \cup \{3^{3+66k} 0 \leq k \leq 2\},$ $\{3^{3+2+66k} 0 \leq k \leq 2\}, 0 \leq i \leq 10\}$
$(701, \{6, 5\}, \{1, 1\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	14	14	2	1	-	0	$\{0\} \cup \{2^{5+140k} 0 \leq k \leq 4\},$ $\{2^{5+1+140k} 0 \leq k \leq 4\}, 0 \leq i \leq 13\}$
$(751, \{6, 5\}, \{1, 1\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	15	15	3	2	-	0	$\{0\} \cup \{3^{5+150k} 0 \leq k \leq 4\},$ $\{3^{5+2+150k} 0 \leq k \leq 4\}, 0 \leq i \leq 14\}$

表 2 $\left\{ n, \{w+1, w\}, \{2, 2\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right\}$ 光正交码
Tab. 2 $\left\{ n, \{w+1, w\}, \{2, 2\}, 1, \{t_0/(t_0+t_1), t_1/(t_0+t_1)\} \right\}$ optical orthogonal codes

$\left\{ n, \{w+1, w\}, \{2, 2\}, 1, \{q_0, q_0\} \right\}$	t_0	t_1	T	x_0	z_0	C
$(41, \{5, 4\}, \{2, 2\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	2	2	6	1	0	$\{0\} \cup \{6^{5+10k} 0 \leq k \leq 3\},$ $\{6^{5+1+10k} 0 \leq k \leq 3\}, 0 \leq i \leq 1\}$
$(61, \{5, 4\}, \{2, 2\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	3	3	2	1	0	$\{0\} \cup \{2^{5+15k} 0 \leq k \leq 3\},$ $\{2^{5+1+15k} 0 \leq k \leq 3\}, 0 \leq i \leq 2\}$
$(101, \{5, 4\}, \{2, 2\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	5	5	2	1	0	$\{0\} \cup \{2^{5+25k} 0 \leq k \leq 3\},$ $\{2^{5+1+25k} 0 \leq k \leq 3\}, 0 \leq i \leq 4\}$
$(181, \{5, 4\}, \{2, 2\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	9	9	2	1	0	$\{0\} \cup \{2^{5+45k} 0 \leq k \leq 3\},$ $\{2^{5+1+45k} 0 \leq k \leq 3\}, 0 \leq i \leq 8\}$
$(281, \{5, 4\}, \{2, 2\}, 1, \{1/2, 1/2\})$	14	14	3	4	0	$\{0\} \cup \{3^{5+70k} 0 \leq k \leq 3\},$ $\{3^{5+4+70k} 0 \leq k \leq 3\}, 0 \leq i \leq 13\}$

2 可调变重光正交码编 / 解码器

2.1 可调变重光正交码编 / 解码器实现方案 1

采用可编程方法实现可调变重光正交码编码器,其框图如图 1,由 $1 \times W_{\max}$ 光分路器、 $W_{\max}$ 条可变光纤延迟线、 $W_{\max} \times 1$ 光合路器、延时控制器、码重控制器和 $(W_{\max} - W_{\min})$ 个光开关组成,其中, $W_{\max}$ 和 $W_{\min}$ 分别为变重光正交码中最大和最小码重的码字包含“1”的数目.

可变延时线的结构均相同,如图 2 所示,由 m 级 2×2 光开关、一个 2×1 光耦合器和光纤延迟线组成,其中 m 满足 $2^{m-1} < n \leq 2^m$. 可调光纤延迟线的第 k ($1 < k \leq m$) 级延时为 $2^{-1} f$ (f 为切普宽度,即光脉冲宽度). 对于第 k 级开关,当 $a^k = 0$ 时被置于交叉状态,当 $a^k =$

1时被置于直通状态.通过延时器的延时控制逻辑,来改变光开关的状态,使第 $j(0 \leq j \leq w_{\max})$ 条可变光纤延时线的延时值为 i_j . f 控制逻辑事先存入 ROM 中,延时控制器采用“查巡表”的方法使所有可调延时线实现码字中的光脉冲所要求的延时.可调光延迟线的延时范围为 $0 \sim (n-1)f$ 控制码字中光脉冲个数和开关的“通”、“断”状态由码字的码重控制.

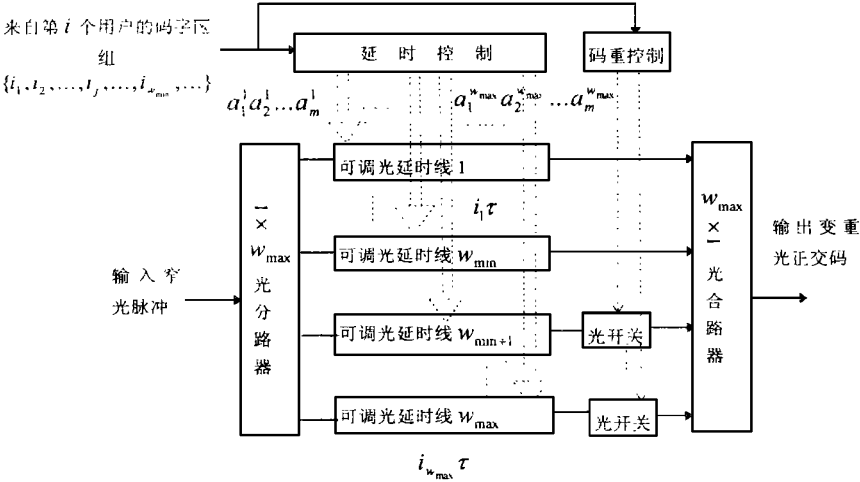


图 1 可调变重光正交码编码器实现方案 1

Fig. 1 The first method realizing tunable variable-weight optical orthogonal encoder

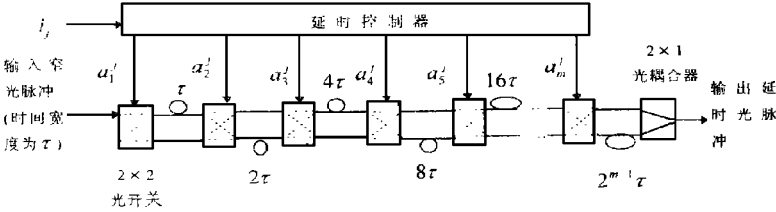


图 2 可变延时线

Fig. 2 Tunable optical relay line

开始传输数据之前,用户先发送 1 个地址,即 1 个码字区组 $\{i_1, i_2, \dots, i_j, \dots\}$ 给它的延时控制器及码重控制器,然后延时控制器从延时控制的查巡表中选择 $w_l (w_{\min} \leq w_l \leq w_{\max})$ 个控制序列 $(a_1^j a_2^j \dots a_m^j) (1 \leq j \leq w_l)$,控制可调光纤延时线中 2×2 光开关的状态;同时码重控制器根据码重数决定码重控制光开关是否接通,所以当数据“ r ”的短光脉冲被送进编码器时,输出是 1 个由 $\{i_1, i_2, \dots, i_j, \dots\}$ 得到的光脉冲序列 C (C 为光正交码中的 1 个码字).

可调解码器的结构与编码器相同,只是为了保证输出脉冲序列 C_i 是要求的 C 的反时序列,控制可调延时线的延时控制器的输入应变为 $\{n-i_1, n-i_2, \dots, n-i_j, \dots\}$,其它均相同,使解码器按要求进行相关运算.如果输入脉冲序列与解码器所对应的 C 相匹配,则输出为 1 个自相关函数,否则输出为 2 个码字的互相关函数.

2.2 可调变重光正交码编 / 解码器实现方案 2

方案 1 的优点是结构简单,但光功率损耗大.如果从节省光功率角度考虑,可采用图 3 所示的方案,它由 $m+1$ 级 1×2 光开关 $t_0 + t_1 + \dots + t_p$ 个固定光编码器和 $p+2$ 个光

合路器组成.第 $j(0 \leq j \leq m)$ 级 1×2 光开关有 2^j 个,开关的状态受用户地址码控制.固定光编码器如图 4 所示,第 j 个固定光编码器产生第 j 个用户所需的地址码.

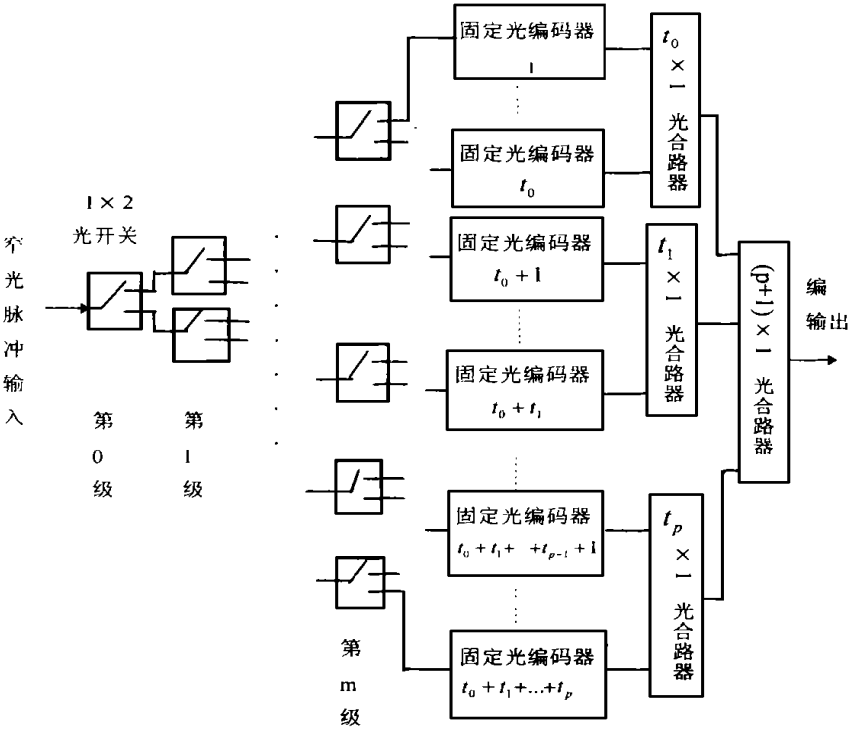


图 3 可调变重光正交码编码器实现方案 2

Fig. 3 The second method realizing tunable variable-weight optical orthogonal encoder

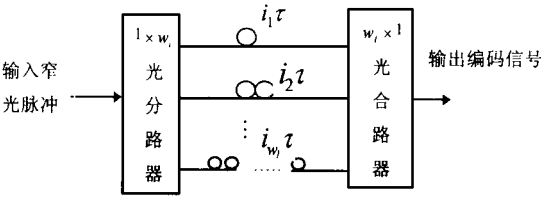


图 4 固定光正交编码器

Fig. 4 The fixed optical orthogonal encoder

可变光解码器的结构与编码器相同,只是将固定光编码器中的光延时线的延时变为 $\{n-i_1, n-i_2, \cdots, n-i_j, \cdots\}$ 即可.这种结构的光编 / 解码器虽结构复杂些,但光功率损耗小.

3 结 论

采用光码分复用通信技术,可实现全光通信,克服目前光纤网络中存在的电子“瓶颈”效应,发挥光纤信道频带宽的潜力,并具有动态分配带宽、网络易扩展、多址联接和

控制灵活方便、保密性强等优点, 适合宽带多媒体通信. 实现光码分复用通信的关键技术之一是光编 解码器的实现, 特别是可调大容量光正交码编 解码器的实现. 研究表明变重光正交码适合于大容量的光码分复用通信系统.

参 考 文 献

- 1 Jversen K. Comparison and classification of all-optical CDM A for Tera-bit networks. Technical Digest of IOOC'95, 1995, 2 95~ 96
- 2 Salehi J A. Code division multiple-access techniques in optical fiber networks-part I : fundamental principles. IEEE Trans on Comm, 1989, 37 (8): 824~ 833
- 3 Yang G C. Variable-weight optical orthogonal codes for CDM A networks with multiple performance requirements. IEEE Trans on Comm, 1996, 44 (1): 47~ 55

The Construction of Variable-Weight Optical Orthogonal Code and the Realization of Its Encoder/Decoder

Yin Hongxi^{} Zhang Guangzhao Yang Shuwen*

Abstract The definition and the constructions of variable-weight optical orthogonal code are introduced. The results of the construction about codewords are given. The methods for implementing tunable variable-weight optical orthogonal code encoder/decoder are put forward for the first time. The configuration of encoder/decoder proposed is applicable for all-optical code division multiplying communication system.

Keywords variable-weight optical orthogonal codes, optical code-division multiplying, tunable optical encoder/decoder

^{*} Department of Radio and Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275