

一种改进型扩频地址码 ZCZ 码的设计

狄旻珉, 苟彦新, 苟北峰

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:扩频地址码的自相关、互相关特性决定了扩频系统的系统容量,好的地址码可以较好的抑制系统的多址干扰。通过对 ZCZ 码的研究,给出了一种改进型的 ZCZ 码的设计方法,解决了传统 ZCZ 码自相关特性差的缺点,同时增大了 ZCZ 码零互相关区间,使其具有更好的多址干扰抑制能力。

关键词:ZCZ 码;扩频;CDMA;多址干扰抑制

中图分类号:TN911 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)02-0046-03

制约直扩系统尤其是 CDMA 系统发展的一个主要因素就是扩频地址码的选取。传统的 M 序列、m 序列和 Gold 序列由于互相关特性较差而引起较大的多址干扰,从而导致系统性能恶化和系统容量的减小。理论上,当系统信噪比较大时,系统的容量就取决于多址干扰。经过仿真发现,使用 128 位的 m 序列作为地址码,其最大用户数量不超过 64 个(理论值应为 128 个),实际生产出的产品用户数量只有 31 个左右。因此,可以看出扩频地址码的选取,对于一个扩频系统来说至关重要。

为了解决扩频系统选码的难题,有人提出了 ZCZ 码的设计方法^[1-2]。ZCZ 码由于各个地址码在判决时刻前后一定范围内互相关值为零而较好的抑制了多址干扰,但由于其不是伪随机序列,自相关特性较差,容易引起错判,而且互相关零值区间较小,在实际应用中作用不大,因此必须加以改进。本文就给出了一种改进扩频 ZCZ 码的设计,解决了 ZCZ 码自相关特性差的缺点,同时扩展了互相关的零值区间。

1 ZCZ 码的设计

ZCZ 码是一个二进制的序列。这种码的互相关值在相对位置偏移零点附近有一个零区域,任何两个码的互相关值在这一区域都为零。其生成方法是:

Y^n 表示一个 ZCZ 序列集,其序列数目为 M ,序列长度为 L ,零相关区长度 Z_{cz} ,表示为 $Y(L, M, Z_{cz})$ 。开始设 $n=0$,基序列为

$$Y^0 = \begin{bmatrix} Y_{11}^0 & Y_{12}^0 \\ Y_{21}^0 & Y_{22}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时 $L=2, M=2, Z_{cz}=1$ 。由基序列通过迭代方法产生 $Y^n, n>1$,

$$Y^1 = \begin{bmatrix} Y_{11}^1 & Y_{12}^1 & Y_{13}^1 & Y_{14}^1 \\ Y_{21}^1 & Y_{22}^1 & Y_{23}^1 & Y_{24}^1 \\ Y_{31}^1 & Y_{32}^1 & Y_{33}^1 & Y_{34}^1 \\ Y_{41}^1 & Y_{42}^1 & Y_{43}^1 & Y_{44}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11}^0 Y_{11}^0 & Y_{12}^0 Y_{12}^0 & -Y_{11}^0 Y_{11}^0 & -Y_{12}^0 Y_{12}^0 \\ Y_{21}^0 Y_{21}^0 & Y_{22}^0 Y_{22}^0 & -Y_{21}^0 Y_{21}^0 & -Y_{22}^0 Y_{22}^0 \\ -Y_{11}^0 Y_{11}^0 & -Y_{12}^0 Y_{12}^0 & Y_{11}^0 Y_{11}^0 & Y_{12}^0 Y_{12}^0 \\ -Y_{21}^0 Y_{21}^0 & -Y_{22}^0 Y_{22}^0 & Y_{21}^0 Y_{21}^0 & Y_{22}^0 Y_{22}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ++ & -- & -+ & +- \\ ++ & ++ & -+ & -+ \\ -+ & +- & ++ & -- \\ -+ & -+ & ++ & ++ \end{bmatrix}$$

式中 $-Y_{ij}^0$ 由 Y_{ij}^0 求反得到, Y^1 即为 $Y(8, 4, 3)$ 的序列。

收稿日期:2002-05-16

基金项目:广电总局科研基金资助项目

作者简介:狄旻珉(1979-),男,山西太原人,硕士生,主要从事军事抗干扰新技术研究。
苟彦新(1940-),男,陕西三原人,教授,主要从事通信对抗研究。

依此类推,可以得到 $Y(32,8,5)$ 的码。

$$Y^2 = \begin{bmatrix} + + + + & + + + + & - + - + & - + - + & - - + + & - - + + & + - - + & + - - + \\ - + - + & - + - + & + + + + & + + + + & + - - + & + - - + & - - + + & - - + + \\ + + + + & - - - - & - + - + & + - + - & - - + + & + + - - & + - - + & - - + + \\ + - - + & - + + - & - - + + & + + - - & - + - + & + - + - & + + + + & - - - - \\ - - + + & + + - - & + - - + & - + + - & + + + + & - - - - & - + - + & + - + - \\ + - - + & + - - + & - - + + & - - + + & - + - + & - + - + & + + + + & + + + + \\ - - + + & - - + + & + - - + & + - - + & + + + + & + + + + & - + - + & - + - + \\ - + - + & + - + - & + + + + & - - - - & + - - + & - + + - & - - + + & + + - - \end{bmatrix}$$

同理,可以得到更长的码字。另外,ZCZ 码还可以通过按照某种规则将长的序列截短,可以得到截短的 ZCZ 扩频码集。例如,将上述 $Y(32,8,5)$ 按列数截取前 16 列,可以得到 $Y(16,8,3)$ 码

$$Y = \begin{bmatrix} + + + + & + + + + & - + - + & - + - + \\ - + - + & - + - + & + + + + & + + + + \\ + + + + & - - - - & - + - + & + - + - \\ + - - + & - + + - & - - + + & + + - - \\ - - + + & + + - - & + - - + & - + + - \\ + - - + & + - - + & - - + + & - - + + \\ - - + + & - - + + & + - - + & + - - + \\ - + - + & + - + - & + + + + & - - - - \end{bmatrix}$$

2 改进方法

由以上方法得到的 ZCZ 扩频地址码互相关值虽然在一定范围内为零值,但零值范围较小,而且自相关特性较差。

如图 1 所示为 $Y(32,8,5)$ 第一列码字的非周期自相关值,很明显自相关最大旁瓣与相关峰最大值相差仅有 3dB,显然难以满足扩频地址码对自相关特性的要求。因此必须采取措施改善其性能。

为了解决上述问题,考虑在每个 ZCZ 码的码字之间加入代表不发送信号的 0 值,通过零值的出现改善 ZCZ 码的自相关和互相关特性。对于 $Y(L,M,ZCZ)$ 码,零值加入的规律是:

- 1) 可分级加入,一级加入在 $Y_{L/2}$ 处加 M 个“0”,二级加入在 $Y_{L/4}$ 处分别加入 M_1 个“0”和 M_2 个“0”,此时 $M_1 \neq M_2$ 。以此类推更高级插入零值的 ZCZ 码。
- 2) 在 N 级插入码中 ($N \geq 3$), 设插入“0”的个数为 $P_n (n = 1, 2, \dots, N)$ 。应当注意任意 m 个相连的 P_n 的和不应等于任意 n 个相连的 P_n 的和,从而保证自相关旁瓣尽可能的小。
- 3) 按以上规则生成的插入码的级数越高,自相关、互相关特性就越好。但利用率也就越低。

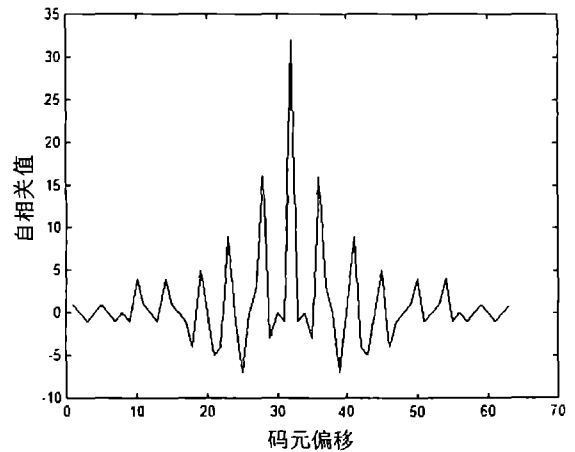


图 1 $Y(32,8,5)$ 第一列码字的非周期自相关值

3 仿真

以前面生成的 $Y3$ 为例。对 $Y(16,8,3)$ 生成 3 级插入码,根据插入“0”码的规则,有 $P_n = \{0, 1, 3, 4, 7, 9, 13, 14\}$ 。由此得到的 3 级插入 $Y(16,8,3)$ 码 $Y3$ 为

$$Y_3 = \begin{bmatrix} + + + + 0 & + + 000 + + & 0000 + - & \dots\dots \\ + - + - 0 & - + 000 - + & 0000 + - & \dots\dots \\ + + + + 0 & - - 000 - - & 0000 + - & \dots\dots \\ + - - + 0 & - + 000 + - & 0000 + - & \dots\dots \\ - - + + 0 & + + 000 - - & 0000 + - & \dots\dots \\ + - - + 0 & + - 000 - + & 0000 + - & \dots\dots \\ - - + + 0 & - - 000 + + & 0000 + - & \dots\dots \\ - + - + 0 & + - 000 + - & 0000 + - & \dots\dots \end{bmatrix}$$

通过这种方法生成的 Y_3 码,比 $Y(16,8,3)$ 码具有更好的自相关和互相关特性。

图 2 分别是 $Y(16,8,3)$ 码的第一行的码和相应的 Y_3 码的非周期自相关值可以看出 Y_3 码的自相关值的最大旁瓣绝对值为 3,而 $Y(16,8,3)$ 码的自相关值的最大旁瓣绝对值为 8。显然, Y_3 码的自相关值要明显优于 $Y(16,8,3)$ 码。

由图 3 可以看出, $Y(16,8,3)$ 码的互相关零值区间为 3,互相关绝对值最大为 12,而 Y_3 码零值区间为 16,互相关绝对值最大 5。

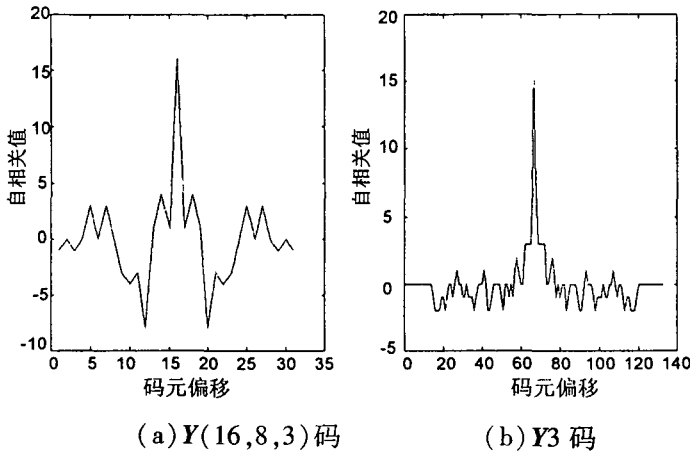


图 2 两种码的自相关特性比较

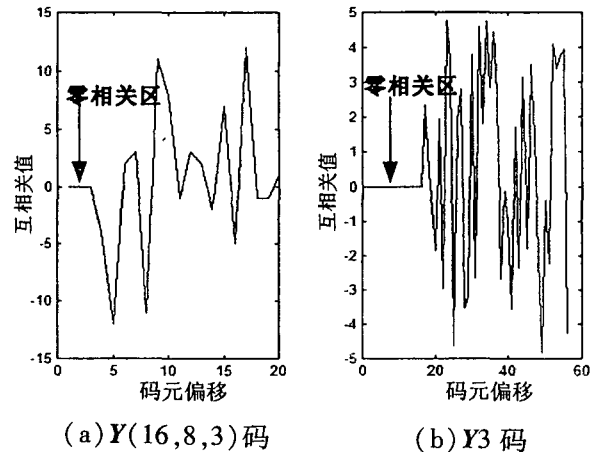


图 3 两种码的互相关特性比较

由以上的分析可以看出,通过在 ZCZ 码中插入代表不发送信号的零值,可以很好的改善 ZCZ 码的自相关和互相关特性。因此,改进 ZCZ 码比 ZCZ 码更具有实际应用的价值。

参考文献:

[1] 邓新民 范平志. 无干扰同步码分多址通信系统扩频序列码组设计方法[P]. 中国, CN1264964A. 1998.
 [2] 范平志. 使用具有零相关区特性的二进制码序列集的自适应无干扰扩频系统[P]. 中国, CN1297628A. 2000.

(编辑: 门向生)

An Improved Scheme of ZCZ Pseudorandom Sequence

DI Min - min, GOU Yan - xin, GOU Bei - feng

(The Telecommunication Engineering Institute, Air force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: The capacity of the spread spectrum system is determined by the auto - correlation and cross - correlation characteristics of the pseudorandom sequence. According to the research of ZCZ sequences, an improved ZCZ sequence design method is given to improve its auto - correlation characteristic and extend its zero cross - correlation zone, which will enlarge the capacity of CDMA system.

Keywords: ZCZ sequence; spread spectrum; CDMA; MAI