2008年12月 第35卷 第6期
西安电子科技大学学报(自然科学版)
JOURNAL OF XIDIAN UNIVERSITY
Dec. 2008 Vol. 35 No. 6

三元低相关区序列集的新构造

李胜强[1,2]，黄华伟[2]，张　宁[2]，肖国镇[2]

(1. 电子科技大学 抗干扰技术国家重点实验室，四川 成都　610054；
2. 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)

摘要： 利用Helleseth等人提出的周期为3^m-1且具有理想自相关性质的三元序列，运用混淆和平衡的思想，构造出满足一定条件的周期为$3^{m+1}-1$的列序列集，从而构造出周期为3^n-1的三元低相关区序列集. 其中m,n为正整数，且满足$(m+1)|n$. 计算结果表明，依Tang-Fan-Matsufuji界，该低相关区序列集是最优的，可用于实际的准同步CDMA系统中.

关键词： 低相关区序列；相关函数；d-form函数；差分平衡

中图分类号：TN914.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-2400(2008)06-1100-05

New design of ternary low correlation zone sequence sets

LI Sheng-qiang[1,2], *HUANG Hua-wei*[2], *ZHANG Ning*[2], *XIAO Guo-zhen*[2]

(1. National Key Lab. of Communication, UESTC, Chengdu　610054, China;
2. State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an　710071, China)

Abstract: A column sequence set of period $3^{m+1}-1$ is devised by the idea of confusion and balance from the ternary sequences of period 3^m-1 with the ideal autocorrelation property proposed by Helleseth et al., and new ternary low correlation zone sequence sets of period 3^n-1 are constructed by using the column sequence set, where m and n are different positive integers with $(m+1)|n$. The conclusion shows that the low correlation zone sequence sets are optimal with respect to the Tang-Fan-Matsufuji bound and can be applied to practical quasi-synchronous(QS) CDMA systems.

Key Words: low correlation zone sequence; correlation function; d-form function; difference balance

对准同步CDMA系统，同步误差控制在一定范围以内，如一个或者几个码片周期，要求扩频序列在零延时附近具有尽可能小的相关函数，低相关区(LCZ)序列集正好具有这种良好的相关特性. LCZ序列不要求序列在整个周期内具有较低的相关性，而只要求序列在同步误差范围内具有低的相关性质. 正因为LCZ序列集的这一性质使得它被广泛地应用于准同步CDMA系统中. 目前，人们已经提出了多种构造LCZ序列集的方法. 龙必起等[1]利用GMW序列的复合序列构造了一类二元LCZ序列集. 随后，唐小虎等将文献[1]的构造推广到了p—元(p为奇素数，以下同)LCZ序列集[2]. Kim等人利用具有二值理想自相关函数的序列在Z_4上构造了四元LCZ序列集[3]. 最近，Jang等人[4]又分别利用Legendre序列、具有二值理想自相关函数的二元序列和p—元序列构造了不同的LCZ序列集，且这些序列集依Tang-Fan-Matsufuji界都是最优的. 随后，Jang和No利用统一序列构造了p^2—元LCZ序列集[5]，推广了文献[3]的构造.

受文献[4]中利用具有二值理想自相关函数的二元序列构造LCZ序列集的启发，笔者利用Helleseth等人提出的具有二值理想自相关函数的三元序列[6]，运用混淆和平衡的思想，构造了一类三元LCZ序列集. 结果表明，依Tang-Fan-Matsufuji界，笔者提出的三元LCZ序列集也是最优的，可应用于实际的准同步CDMA系统中.

收稿日期：2007-12-20
基金项目：国家自然科学基金资助(60773003；60603010)；“十一五”国家部委预研项目(1010××××××105)
作者简介：李胜强(1980-)，男，电子科技大学讲师，博士，E-mail：shqli@uestc.edu.cn.

1 基本概念

设 S 是包含 K 个周期为 $N=p^n-1$ 的 p— 元序列集合，记为

$$S=\{s_i(t)\,|\,0\leqslant i\leqslant K-1,0\leqslant t\leqslant N-1\}\quad .$$

定义 1 p— 元序列集 S 中两个序列 $s_i(t)$ 和 $s_j(t)$ 间的相关函数定义为

$$C_{s_i,s_j}(\tau)=\sum_{t=0}^{N-1}\omega^{s_i(t)-s_j(t+\tau)}\quad,\quad 0\leqslant i,j\leqslant K-1\quad,\quad 0\leqslant\tau\leqslant N-1\quad,$$

其中 $\omega=\exp(2\pi\mathrm{i}/p)(\mathrm{i}=(-1)^{1/2})$ 是 p 次本原单位根. 当 $i=j$ 时，称函数 $C_{s_i,s_j}(\tau)$ 为序列 $s_i(t)$ 的自相关函数.

定义 2 若序列 $s(t)$ 的自相关函数满足：$C_{s,s}(\tau)=\begin{cases}p^n-1\quad, & 若\ \tau=0 \bmod (p^n-1)\quad,\\ -1\quad, & 若\ \tau\neq 0 \bmod (p^n-1)\quad.\end{cases}$

称序列 $\{s(t)\}$ 具有二值(理想)自相关函数[7].

定义 3 设 $a=\{a_i\}$，$b=\{b_i\}$ 为两个周期序列，如果存在整数 k，使得 $a_i=b_{i+k}$ 对任意的 $t\geqslant 0$ 均成立，则称 a 与 b 是循环等价的. 否则，称这两个序列循环不等价.

定义 4 对于序列集合 $S=\{s_i(t)\,|\,0\leqslant i\leqslant K-1,0\leqslant t\leqslant N-1\}$，若给定正整数 $\delta\ll N$，可定义低相关区 L 如下：

$$L=\max\{T\,|\,\,|C_{s_i,s_j}(\tau)|\leqslant\delta,(|\tau|<T\ 且 0\leqslant i\neq j\leqslant K-1)\ 或 (0<|\tau|<T\ 且 0\leqslant i=j\leqslant K-1)\}.$$

如果 $L\geqslant 1$，则 S 为一个参数为 (N,K,L,δ) 的低相关区序列集[2].

定义 5 设 $f(x)$ 是从 F_{p^n} 到 F_{p^m} 的函数，且满足 $m\,|\,n$，如果对任意的 $r\in F_{p^m}$，$x\in F_{p^n}$，均有 $f(rx)=r^d f(x)$，则称 $f(x)$ 是从 F_{p^n} 到 F_{p^m} 的 d-form 函数[8].

引理 1 由文献[9]中引理 4，设 p 为素数，则周期为 p^n-1 的 p— 元序列有二值理想自相关函数，当且仅当 p— 元序列具有差分平衡性质.

引理 2 由文献[4]中定理 2，令 m 和 n 为不同的整数，且满足 $m\,|\,n$，$f(y)$ 和 $g(y)$ 为 F_{p^m} 到 F_p 的周期为 p^m-1 的循环不等价序列，从 F_{p^n} 到 F_{p^m} 的函数 $h(x)$ 是 F_{p^m} 上的 1-form 函数，且满足平衡性质和差分平衡性质. 令 $f(0)=g(0)=0$，则序列 $f(h(x))$ 和 $g(h(x))$ 间的互相关函数为

$$R_{f,g}(\delta)=\begin{cases}p^{n-m}[C_{f,g}(\delta)+1]-1\quad, & \delta\in F_{p^m}\quad,\\ p^{n-2m}[I(f)+1][\bar{I}(g)+1]-1\quad, & \delta\notin F_{p^m}\quad,\end{cases}$$

其中 $I(f)=\sum\limits_{y\in F_{p^m}^*}\omega_p^{f(y)}$，$C_{f,g}(\delta)=\sum\limits_{y\in F_{p^m}^*}\omega_p^{f(\delta y)-g(y)}$，$\bar{I}(\cdot)$ 表示 $I(\cdot)$ 的复共轭.

在引理 2 中，$f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别称之为序列 $f(h(\cdot))$ 和 $g(h(\cdot))$ 的二维表示的列序列.

显然，$I(f)=-1$ 对应着列序列 $f(y)$ 的平衡性质. 若列序列是平衡的，则 $R_{f,g}(\delta)=-1,\delta\notin F_{p^m}$. 要使得 $R_{f,g}(1)=-1$ 成立，则必须有 $C_{f,g}(1)=-1$，即列序列集中的任两条序列的同步互相关函数值均为 -1.

由上面的分析，Jang 等人提出了下面的性质.

性质 1 由文献[4]中性质 3，令 A 表示周期为 p^m-1 的序列集且满足如下 3 条性质：

(1) A 中所有的序列均是循环不等价的；

(2) A 中的任一条序列均具有平衡性质；

(3) A 中任意两条序列的同步互相关函数值均为 -1. 即 $C_{s_i,s_j}(1)=-1$.

对引理 2 分析不难得出结论：如果能构造出满足性质 1 的序列集 A，则可构造出参数为 $(p^n-1,|A|,(p^n-1)/(p^m-1),1)$ 的 p — 元低相关区序列集. 笔者正是基于这一结论来构造低相关区序列集的.

在本文中的第 3 部分，笔者将基于 Helleseth 等人提出的具有二值理想自相关函数的三元序列，运用混淆和平衡的思想，构造出满足性质 1 的序列集 A，再根据上面的结论，由序列集 A 构造出新的低相关区序列集.

2 三元 LCZ 序列集的新构造

2001 年，Helleseth 等人[6]提出了一类具有二值理想自相关函数的三元序列，该序列的周期为 3^m-1，其中$m=3k$，k为正整数. 需要指出的是，下文中出现的m也必须满足$m=3k$. 下面将利用该三元序列构造出一系列满足性质 1 的列序列集. 如定理 1 所述.

定理 1 令 $m_1(x)$，$m_2(x)$ 和 $m_3(x)$ 是 3 个具有理想自相关性质的三元序列，且周期均为3^m-1. L_1，L_2 和 L_3 分别表示序列 $m_1(x)$，$m_2(x)$ 和 $m_3(x)$ 的线性复杂度. 假定若 $m_1(x)$，$m_2(x)$ 和 $m_3(x)$ 是循环不等价的，则$L_1+L_2+L_3+\max(L_1,L_2,L_3)<3^m-1$；若 $m_1(x)$，$m_2(x)$ 和 $m_3(x)$ 是两两循环等价的，则$L_1=L_2=L_3<3^{m-1}$；定义新的三元序列 $s_i(t)$ 如下：

当 $0\leqslant i\leqslant 3^m-2$ 时，

$$s_i(t)=\begin{cases} m_1(t+i), & 0\leqslant t\leqslant 3^m-2, \\ 0, & t=3^m-1, \\ m_2(t-1-i), & 3^m\leqslant t\leqslant 2\times 3^m-2, \\ 0, & t=2\times 3^m-1, \\ m_3(t-2-i), & 2\times 3^m\leqslant t\leqslant 3^{m+1}-2, \end{cases} \tag{1}$$

当 $3^m-1\leqslant i\leqslant 2\times 3^m-3$ 时，

$$s_i(t)=\begin{cases} m_1(t+i), & 0\leqslant t\leqslant 3^m-2, \\ 0, & t=3^m-1, \\ m_2(t-1-i)+1, & 3^m\leqslant t\leqslant 2\times 3^m-2, \\ 1, & t=2\times 3^m-1, \\ m_3(t-2-i), & 2\times 3^m\leqslant t\leqslant 3^{m+1}-2, \end{cases} \tag{2}$$

当 $2\times 3^m-2\leqslant i\leqslant 3^{m+1}-4$ 时，

$$s_i(t)=\begin{cases} m_1(t+i), & 0\leqslant t\leqslant 3^m-2, \\ 0, & t=3^m-1, \\ m_2(t-1-i), & 3^m\leqslant t\leqslant 2\times 3^m-2, \\ 2, & t=2\times 3^m-1, \\ m_3(t-2-i)+2, & 2\times 3^m\leqslant t\leqslant 3^{m+1}-2, \end{cases} \tag{3}$$

$$s_{3^{m+1}-3}(t)=\begin{cases} 0, & 0\leqslant t\leqslant 3^m-2, \\ 1, & 3^m-1\leqslant t\leqslant 2\times 3^m-2, \\ 2, & 2\times 3^m-1\leqslant t\leqslant 3^{m+1}-2, \end{cases}$$

$$s_{3^{m+1}-2}(t)=\begin{cases} 0, & 0\leqslant t\leqslant 3^m-2, \\ 2, & 3^m-1\leqslant t\leqslant 2\times 3^m-2, \\ 1, & 2\times 3^m-1\leqslant t\leqslant 3^{m+1}-2. \end{cases}$$

那么序列集 $s_i(t)$ 满足性质 1.

证明 由 $s_i(t)$ 的定义，很容易得出序列集 $s_i(t)$ 中的任一条序列均是平衡的. 由于序列 $m_1(x)$，$m_2(x)$ 和 $m_3(x)$ 均具有理想自相关性质，由引理 1，这些序列满足差分平衡特性，从而 $s_i(t)$ 满足性质 1 中的(3). 下面只需要证明 $s_i(t)$ 中的序列均是循环不等价的.

显然，最后两条序列 $s_{3^{m+1}-3}(t)$ 和 $s_{3^{m+1}-2}(t)$ 和其他任何一条序列均循环不等价，且 $s_{3^{m+1}-3}(t)$ 和 $s_{3^{m+1}-2}(t)$ 两者也满足循环不等价. 所以只要证明，对任意的 i,j，$0\leqslant i,j\leqslant 3^{m+1}-4$ 和 τ，要使$s_j(t)=s_i(t+\tau)$ 成立，当且仅当$i=j$ 和$\tau=0$.

1) $0 \leqslant i, j \leqslant 3^m - 2, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

不难得出表达式 $s_i(t+\tau)$ 可以表示为

$$s_i(t+\tau) = \begin{cases} m_1(t+i+\tau), & 0 \leqslant t \leqslant 3^m - 2 - \tau, \\ 0, & t = 3^m - 1 - \tau, \\ m_2(t-1-i+\tau), & 3^m - \tau \leqslant t \leqslant 2\times 3^m - 2 - \tau, \\ 0, & t = 2\times 3^m - 1 - \tau, \\ m_3(t-2-i+\tau), & 2\times 3^m - \tau \leqslant t \leqslant 3^{m+1} - 2 - \tau, \\ m_1(t+i+\tau-2), & 3^{m+1} - 1 - \tau \leqslant t \leqslant 3^{m+1} - 2. \end{cases} \tag{4}$$

假定对于所有的 t，$s_j(t) = s_i(t+\tau)$ 成立，由表达式(1)和(4)有：

$$m_1(t+j) + m_1(t+i+\tau) = 0, \quad 0 \leqslant t \leqslant 3^m - 2 - \tau, \tag{5}$$

$$m_1(t+j) + m_2(t-1-i+\tau) = 0, \quad 3^m - \tau \leqslant t \leqslant 3^m - 2, \tag{6}$$

$$m_2(t-1-j) + m_2(t-1-i+\tau) = 0, \quad 3^m \leqslant t \leqslant 2\times 3^m - 2 - \tau, \tag{7}$$

$$m_2(t-1-j) + m_3(t-2-i+\tau) = 0, \quad 2\times 3^m - \tau \leqslant t \leqslant 2\times 3^m - 2, \tag{8}$$

$$m_3(t-2-j) + m_3(t-2-i+\tau) = 0, \quad 2\times 3^m \leqslant t \leqslant 3^{m+1} - 2 - \tau, \tag{9}$$

$$m_3(t-2-j) + m_1(t+i+\tau-2) = 0, \quad 3^{m+1} - 1 - \tau \leqslant t \leqslant 3^{m+1} - 2, \tag{10}$$

式(5)，(7)，(9)的左边有 $3^m - 1 - \tau$ 个连续的 0，因此，如果 $\tau < 3^m - \max(L_1, L_2, L_3)$，即 $3^m - 1 - \tau \geqslant \max(L_1, L_2, L_3)$，则有 $j = i + \tau$，$-1-j = -1-i+\tau$，$-j = -i+\tau$. 从而 $i = j$，$\tau = 0$. 此时式(6)，(8)，(10)无意义；

如果 $\tau \geqslant 3^m - \max(L_1, L_2, L_3)$，则 $\tau - 1 \geqslant 3^m - 1 - \max(L_1, L_2, L_3) > L_1 + L_2 + L_3$，则如果式(6)，(8)，(10)成立，只有 $m_1(t) = m_2(t) = m_3(t)$. 即 $m_1(x)$，$m_2(x)$，$m_3(x)$ 必须满足两两循环等价. 则有 $t + j = t - 1 - i + \tau$，$t - 1 - j = t - 2 - i + \tau$，$t - 2 - j = t - 2 + i + \tau$，由这 3 个等式方程得不到 τ 的解.

由上面两点可以得出，要使式(5)～(10)成立，只有 $i = j$，$\tau = 0$.

2) $0 \leqslant i, j \leqslant 3^m - 2, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

3) $0 \leqslant i, j \leqslant 3^m - 2, 2\times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

4) $3^m - 1 \leqslant i, j \leqslant 2\times 3^m - 3, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

5) $3^m - 1 \leqslant i, j \leqslant 2\times 3^m - 3, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

6) $3^m - 1 \leqslant i, j \leqslant 2\times 3^m - 3, 2\times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

7) $2\times 3^m - 2 \leqslant i, j \leqslant 3^{m+1} - 4, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

8) $2\times 3^m - 2 \leqslant i, j \leqslant 3^{m+1} - 4, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

9) $2\times 3^m - 2 \leqslant i, j \leqslant 3^{m+1} - 4, 2\times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

10) $0 \leqslant i \leqslant 3^m - 2, 3^m - 1 \leqslant j \leqslant 2\times 3^m - 3, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

11) $0 \leqslant i \leqslant 3^m - 2, 2\times 3^m - 2 \leqslant j \leqslant 3^{m+1} - 4, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

12) $3^m - 1 \leqslant i \leqslant 2\times 3^m - 3, 0 \leqslant j \leqslant 3^m - 2, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

13) $3^m - 1 \leqslant i \leqslant 2\times 3^m - 3, 2\times 3^m - 2 \leqslant j \leqslant 3^{m+1} - 4, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

14) $2\times 3^m - 2 \leqslant i \leqslant 3^{m+1} - 4, 0 \leqslant j \leqslant 3^m - 2, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

15) $2\times 3^m - 2 \leqslant i \leqslant 3^{m+1} - 4, 3^m - 1 \leqslant j \leqslant 2\times 3^m - 3, 0 \leqslant \tau \leqslant 3^m - 2$.

16) $0 \leqslant i \leqslant 3^m - 2, 3^m - 1 \leqslant j \leqslant 2\times 3^m - 3, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

17) $0 \leqslant i \leqslant 3^m - 2, 2\times 3^m - 2 \leqslant j \leqslant 3^{m+1} - 4, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

18) $3^m - 1 \leqslant i \leqslant 2\times 3^m - 3, 0 \leqslant j \leqslant 3^m - 2, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

19) $3^m - 1 \leqslant i \leqslant 2\times 3^m - 3, 2\times 3^m - 2 \leqslant j \leqslant 3^{m+1} - 4, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

20) $2\times 3^m - 2 \leqslant i \leqslant 3^{m+1} - 4, 0 \leqslant j \leqslant 3^m - 2, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

21) $2\times 3^m - 2 \leqslant i \leqslant 3^{m+1} - 4, 3^m - 1 \leqslant j \leqslant 2\times 3^m - 3, 3^m \leqslant \tau \leqslant 2\times 3^m - 2$.

22) $0 \leqslant i \leqslant 3^m - 2, 3^m - 1 \leqslant j \leqslant 2 \times 3^m - 3, 2 \times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

23) $0 \leqslant i \leqslant 3^m - 2, 2 \times 3^m - 2 \leqslant j \leqslant 3^{m+1} - 4, 2 \times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

24) $3^m - 1 \leqslant i \leqslant 2 \times 3^m - 3, 0 \leqslant j \leqslant 3^m - 2, 2 \times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

25) $3^m - 1 \leqslant i \leqslant 2 \times 3^m - 3, 2 \times 3^m - 2 \leqslant j \leqslant 3^{m+1} - 4, 2 \times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

26) $2 \times 3^m - 2 \leqslant i \leqslant 3^{m+1} - 4, 0 \leqslant j \leqslant 3^m - 2, 2 \times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

27) $2 \times 3^m - 2 \leqslant i \leqslant 3^{m+1} - 4, 3^m - 1 \leqslant j \leqslant 2 \times 3^m - 3, 2 \times 3^m \leqslant \tau \leqslant 3^{m+1} - 2$.

以上列出了 i, j, τ 取在不同范围时的各种情况，用与讨论 1) 相同的方法可以证明：当 $L_1 + L_2 + L_3 + \max(L_1, L_2, L_3) < 3^m - 1$,以上每种情况下都有 $s_i(t)$ 和 $s_j(t)$ 是循环不等价的.

28) $\tau = 3^m - 1$.

29) $\tau = 2 \times 3^m - 1$.

在 28),29)两种情况下,显然有：$s_i(t + \tau) \neq s_j(t), 0 \leqslant i, j \leqslant 3^{m+1} - 4$.

以上各种情况的讨论证明,对于所有的 i 和 j,$s_i(t)$ 和 $s_j(t)$ 都是循环不等价的.从而完成了定理 1 的证明.

利用引理 2 和定理 1 中描述的列序列集,根据第 2 部分得出的结论,可构造出新的三元 LCZ 序列集,其构造如定理 2 所述.

定理 2 令 n 和 m 是不同的正整数,且满足 $(m+1) \mid n, T = (3^n - 1)/(3^{m+1} - 1)$. 令 α 是域 F_{3^n} 的本原元,则 $\beta = \alpha^T$ 是域 $F_{3^{m+1}}$ 的本原元. 令 $h(x)$ 是从 F_{3^n} 到 $F_{3^{m+1}}$ 的 1-form 函数,且具有平衡和差分平衡性质. 令 $f_i(\beta^t) = s_i(t)$,这里 $s_i(t)$ 是定理 1 中定义的三元序列. 那么序列集 B 定义为：$B = \{u_i(t) = f_i(h(\alpha^t)) \mid 0 \leqslant i \leqslant 3^{m+1} - 2, 0 \leqslant t \leqslant 3^n - 2\}$,则序列集 B 是参数为 $(3^n - 1, 3^{m+1} - 1, T, 1)$ 的 LCZ 序列集.

唐小虎等人得到了 LCZ 序列的下界. 如引理 3 所述.

引理 3 (Tang-Fan-Matsufuji 界) 设 S 是 (N, K, L, δ) LCZ 序列集,则参数间满足：$KL - 1 \leqslant (N - 1)/(1 - \delta^2/N)$). 当等式成立时,称 LCZ 序列集 S 是最优的[10].

下面来检验定理 2 中的 LCZ 序列集 B 是否是最优的.

推论 1 依 Tang-Fan-Matsufuji 界,定理 2 构造的 $(3^n - 1, 3^{m+1} - 1, T, 1)$ LCZ 序列集 B 是最优的.

证明 取 $N = 3^n - 1, K = 3^{m+1} - 1, \delta = 1$, 则有 $(3^{m+1} - 1)L - 1 \leqslant (3^n - 2)/(1 - 1/(3^n - 1))$,故 $L \leqslant 3^n/(3^{m+1} - 1)$,由于 L 是整数,所以 $L \leqslant \lfloor 3^n/(3^{m+1} - 1) \rfloor = (3^n - 1)/(3^{m+1} - 1) = T$.

因此,定理 2 所构造的 $(3^n - 1, 3^{m+1} - 1, T, 1)$LCZ 序列集 B 是最优的.

3 结　　论

利用 Helleseth 等人提出的具有二值理想自相关函数的三元序列,构造出了满足性质 1 的列序列集. 进而构造了一类参数为 $(3^n - 1, 3^{m+1} - 1, T, 1)$ 的 LCZ 序列集,其中 $T = (3^n - 1)/(3^{m+1} - 1)$. 笔者的构造方法不同于文献[1,4]中构造 p— 元 LCZ 序列集的方法. 构造出满足性质 1 的列序列集是笔者构造三元 LCZ 序列集的关键,且构造的 LCZ 序列集依 Tang-Fan-Matsufuji 界是最优的,可应用于实际的准同步 CDMA 系统中.

参考文献：

[1] Long B Q, Zhang P, Hu J D. A Generalized QS-CDMA System and the Design of New Spreading Codes[J]. IEEE Trans on Vch Technol, 1998, 47(4): 1268-1275.

[2] Tang X H, Fan P Z. A Class of Pseudonoise Sequences over GF(p) with Low Correlation Zone[J]. IEEE Trans on Inf Theory, 2001, 47(4): 1644-1649.

[3] Kim S H, Jang J W, No J S, et al. New Constructions of Quaternary Low Correlation Zone Sequences[J]. IEEE Trans on Inf Theory, 2005, 51(4): 1469-1477.

(下转第 1126 页)