

伪随机屏蔽二进阵列偶理论研究

李兆斌^{1,2}, 蒋挺², 周正²

(1. 北京电子科技学院, 北京 100070; 2. 北京邮电大学无线网络实验室, 北京 100876)

摘要: 提出一种新的最佳相关信号, 即伪随机屏蔽二进阵列偶, 研究了其变换性质、Fourier 频谱特性和存在的组合允许条件, 运用这些性质和条件可以缩小伪随机屏蔽二进阵列偶的搜索范围, 提高计算机搜索的效率. 在此基础上编写了计算机搜索算法, 搜索出若干体积的伪随机屏蔽二进阵列偶. 搜索结果表明伪随机屏蔽二进阵列偶具有较大的存在空间, 因而可以应用到工程中.

关键词: 最佳相关信号; 阵列偶; 伪随机; 信号理论

中图分类号: TN911.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2009) 07-1476-05

Study on Pseudorandom Punctured Binary Array Pairs

LI Zhao-bin^{1,2}, JIANG Ting², ZHOU Zheng²

(1. Beijing Electronic Science Technology Institute, Beijing 100070, China;

2. Wireless Network Laboratory, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: A new perfect correlation signal is proposed, which can be called as pseudorandom punctured binary array pairs. The transform properties, Fourier spectrum characters and combinatorial admissibility conditions of the pseudorandom punctured binary array pairs are studied. By making use of these properties and conditions, the efficiency of searching the pseudorandom punctured binary array pairs can be improved significantly. As a computational illustration, a set of pseudorandom punctured binary array pairs are given. The searching results show that the existent range of pseudorandom punctured binary array pairs is so wide that they are suitable for engineering applications.

Key words: perfect correlation signal; array pairs; pseudorandom; information theory

1 引言

具有优良相关特性的信号已在现代通信、雷达、信号处理和信源编码等领域得到了广泛的应用. 最理想的相关信号就是最佳二进相关信号, 但在序列长度小于 12100 的范围内仅仅只有长度为 4 的最佳二进序列, 这就使其在工程上的应用受到了很大的约束. 为满足工程应用的实际需要, 有学者提出用两个阵列组成的阵列偶^[1]来形成最佳信号, 应用这种阵列偶可以使通信系统的发送端和接收端使用不同的信号进行相关检测. 相应的研究成果有准最佳二进阵列偶^[2]、双准最佳二进阵列偶^[3]、几乎最佳二进阵列偶^[4]、二值自相关二进阵列偶^[5]等. 将阵列偶由二元扩展到三元有人提出了最佳屏蔽二进阵列偶^[6]、准最佳屏蔽二进阵列偶^[7]等相关信号, 这些阵列偶的提出进一步扩大了最佳信号的寻找范围. 本文正是在几乎最佳屏蔽二进序列偶^[8]和最佳屏蔽

二进阵列偶的基础上提出了一种新的、存在范围更广的最佳离散信号, 即伪随机屏蔽二进阵列偶. 研究了其性质和频谱特性, 给出了计算机搜索伪随机屏蔽二进阵列偶的组合允许条件, 列出了若干计算机搜索伪随机屏蔽二进阵列偶的结果.

2 基本定义

定义 1^[5] 设 $X = [x(s_1, s_2, \dots, s_n)]$ 为 n 维 $N_1 \times N_2 \times \dots \times N_n$ 阶阵列, 若存在另一阵列 $Y = [y(s_1, s_2, \dots, s_n)]$, 满足以下条件:

$$y(s_1, s_2, \dots, s_n) = \begin{cases} 0, & (s_1, s_2, \dots, s_n) \text{ 阵列 } X \text{ 的屏蔽位} \\ x(s_1, s_2, \dots, s_n), & (s_1, s_2, \dots, s_n) \notin \text{阵列 } X \text{ 的屏蔽位} \end{cases}$$

则称阵列 Y 为阵列 X 的屏蔽阵列, 使阵列 X 中元素为零的位置 (p_1, p_2, \dots, p_n) 称为阵列 X 的屏蔽位. i 为阵列 X 的第 i 个屏蔽位.

收稿日期: 2008-01-03; 修回日期: 2009-04-22

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60432040, 607720021); 北京市自然科学基金 (No. 4052021); 教育部博士点基金 (No. 200060013008); 韩国仁荷大学 IT 研究中心 (No. INHA UWB-ITRC); 北京电子科技学院信息安全重点实验室基金 (No. YZDJ0709).

定义 2^[5] 由阵列 X 和它的 p 位屏蔽阵列 Y 组成的阵列偶 (X, Y) 称为 p 位屏蔽阵列偶。若阵列 X 中的元素 $x = \{-1, +1\}$, 则屏蔽阵列 Y 中的元素为 $y = \{-1, 0, +1\}$, 称阵列偶 (X, Y) 为屏蔽二进制阵列偶。

定义 3 屏蔽二进制阵列偶 (X, Y) 的自相关函数 $R_{XY}(u_1, u_2, \dots, u_n)$ 定义为

$$R_{XY}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \sum_{s_1=0}^{N_1-1} \sum_{s_2=0}^{N_2-1} \dots \sum_{s_n=0}^{N_n-1} x(s_1, s_2, \dots, s_n) \cdot y(s_1 + u_1, s_2 + u_2, \dots, s_n + u_n)$$

其中: $s_i + u_i \pmod{N_i}, 0 \leq s_i < N_i - 1, 0 \leq u_i < N_i - 1, i = 1, 2, \dots, n$.

定义 4 若屏蔽二进制阵列偶 (X, Y) 的自相关函数 $R_{XY}(u_1, u_2, \dots, u_n)$ 满足下述条件

$$R_{XY}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \begin{cases} E, & (u_1, u_2, \dots, u_n) = (0, 0, \dots, 0) \\ -1, & (u_1, u_2, \dots, u_n) = (\text{其他值}) \end{cases} \quad (1)$$

则称屏蔽二进制阵列偶 (X, Y) 为伪随机屏蔽二进制阵列偶。

定义 5 伪随机屏蔽二进制阵列偶 (X, Y) 的能量定义为

$$E = R_{XY}(0, 0, \dots, 0) = \sum_{s_1, s_2, \dots, s_n} x(s_1, s_2, \dots, s_n) y(s_1, s_2, \dots, s_n) = V - p \quad (2)$$

其中 $V = N_1 N_2 \dots N_n$ 为阵列 X 的体积。

定义 6 阵列 $X = [x(s_1, s_2, \dots, s_n)]$ 的平衡度 I 定义为

$$I = \sum_{s_1, s_2, \dots, s_n} x(s_1, s_2, \dots, s_n) = n_p - n_n \quad (3)$$

其中 n_p, n_n 分别为阵列 X 中 +1 和 -1 元素的个数。

定义 7 阵列 $X = [x(s_1, s_2, \dots, s_n)]$ 的屏蔽平衡度 pp 定义为

$$pp = p_p - p_n \quad (4)$$

其中 p_p, p_n 分别为在阵列 X 中 (+1 和 -1 元素上屏蔽的个数)。

定义 8^[9] 阵列 $X = [x(s_1, s_2, \dots, s_n)]$ 的 Fourier 变换系数为

$$F_X(f_1, f_2, \dots, f_n) = \sum_{s_1=0}^{N_1-1} \sum_{s_2=0}^{N_2-1} \dots \sum_{s_n=0}^{N_n-1} x(s_1, s_2, \dots, s_n) \cdot W_1^{f_1 s_1} W_2^{f_2 s_2} \dots W_n^{f_n s_n} \quad (5)$$

可以由上式推导出 X 的 Fourier 逆变换为

$$x(s_1, s_2, \dots, s_n) = \frac{1}{V} \sum_{v_1=0}^{N_1-1} \sum_{v_2=0}^{N_2-1} \dots \sum_{v_n=0}^{N_n-1} F_X(f_1, f_2, \dots, f_n) \cdot W_1^{-f_1 v_1} W_2^{-f_2 v_2} \dots W_n^{-f_n v_n} \quad (6)$$

其中 $W_k = \exp(j2\pi / N_k), j = \sqrt{-1}, k = 1, 2, \dots, n, V = N_1 N_2 \dots N_n$ 为阵列 X 的体积。

3 伪随机屏蔽二进制阵列偶的变换性质

设屏蔽二进制阵列偶 (X, Y) 为 n 维 $N_1 \times N_2 \times \dots \times N_n$ 阶伪随机屏蔽二进制阵列偶, 则满足下列性质:

性质 1 (映射性) 若 $x_1(s_1, s_2, \dots, s_n) = x(-s_1, -s_2, \dots, -s_n), y_1(s_1, s_2, \dots, s_n) = y(-s_1, -s_2, \dots, -s_n)$, 则 (X_1, Y_1) 为伪随机屏蔽二进制阵列偶。

性质 2 (元素符号取反) 若 $x_1(s_1, s_2, \dots, s_n) = -x(s_1, s_2, \dots, s_n), y_1(s_1, s_2, \dots, s_n) = -y(s_1, s_2, \dots, s_n)$, 则 (X_1, Y_1) 为伪随机屏蔽二进制阵列偶。

性质 3 (逆序变换) 若 $x_1(s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n) = x(s_1, s_2, \dots, N_i - s_i, \dots, s_n), y_1(s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n) = y(s_1, s_2, \dots, N_i - s_i, \dots, s_n), 1 \leq i \leq n$, 则 (X_1, Y_1) 为伪随机屏蔽二进制阵列偶。

性质 4 (循环移位) 若 $x_1(s_1, s_2, \dots, s_n) = x(s_1 + u_1, s_2 + u_2, \dots, s_n + u_n), y_1(s_1, s_2, \dots, s_n) = y(s_1 + u_1, s_2 + u_2, \dots, s_n + u_n), u_1, u_2, \dots, u_n$ 为整数, 则 (X_1, Y_1) 为伪随机屏蔽二进制阵列偶。

以上性质很容易由伪随机屏蔽二进制阵列偶的定义证明, 在此省略。

4 伪随机屏蔽二进制阵列偶的频谱性质

性质 5^[10]

$$F_X(0, 0, \dots, 0) = \sum_{s_1=0}^{N_1-1} \sum_{s_2=0}^{N_2-1} \dots \sum_{s_n=0}^{N_n-1} x(s_1, s_2, \dots, s_n) \quad (7)$$

性质 6^[9,10] 若

$Y = [y(s_1, s_2, \dots, s_n)] = [x(s_1 + u_1, s_2 + u_2, \dots, s_n + u_n)]$ 有

$$F_Y(f_1, f_2, \dots, f_n) = W_1^{-u_1 f_1} W_2^{-u_2 f_2} \dots W_n^{-u_n f_n} F_X(f_1, f_2, \dots, f_n) \quad (8)$$

性质 7^[9,10] 若

$[x_3(s_1, s_2, \dots, s_n)] = [x_1(s_1, s_2, \dots, s_n) x_2(s_1, s_2, \dots, s_n)]$ 有

$$F_{X_3}(v_1, v_2, \dots, v_n) = \frac{1}{V} \sum_{f_1=0}^{N_1-1} \sum_{f_2=0}^{N_2-1} \dots \sum_{f_n=0}^{N_n-1} \left[F_{X_1}(f_1, f_2, \dots, f_n) \cdot F_{X_2}(v_1 - f_1, v_2 - f_2, \dots, v_n - f_n) \right] \quad (9)$$

引理 1^[9,10] 若 $F_X(f_1, f_2, \dots, f_n)$ 与 $F_Y(f_1, f_2, \dots, f_n)$ 分别为阵列偶 (X, Y) 的 Fourier 变换谱系数, 则:

$$x(s_1, s_2, \dots, s_n) y(s_1, s_2, \dots, s_n) = \frac{1}{V} \sum_{f_1, f_2, \dots, f_n} F_X(f_1, f_2, \dots, f_n) F_Y^*(f_1, f_2, \dots, f_n) \quad (10)$$

其中 $F_Y^*(f_1, f_2, \dots, f_n) = F_Y(-f_1, -f_2, \dots, -f_n)$ 为 $F_Y(v_1, v_2, \dots, v_n)$ 的共轭复数。

定理 1 设屏蔽阵列偶 (X, Y) 为伪随机屏蔽二进制

证明 由定义 4 知,当 $(u_1, u_2, \dots, u_n) \quad (0, 0, \dots, 0)$ 时有 $R_{XY}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \dots x(s_1, s_2, \dots, s_n) y(s_1 + u_1, s_2 + u_2, \dots, s_n + u_n) = -1$

式中共有 V 项,其中有 $V - p$ 项取值 ± 1 ,要使 $R_{XY}(u_1, u_2, \dots, u_n)$ 为 -1 必有 $V - p$ 为奇数,定理得证.

根据这些组合允许条件和伪随机屏蔽二进制阵列偶的性质,编制了搜索伪随机屏蔽二进制阵列偶的计算机程序,搜索出了若干体积的伪随机屏蔽二进制阵列偶.由于篇幅有限,这里只列出部分伪随机屏蔽二进制阵列偶,如下所示.

(1) 2 × 3 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & + & - \\ - & - & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & + & - \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + & + \\ + & - & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ + & - & - \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

3 × 2 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & - \\ + & - \\ - & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & 0 \\ + & 0 \\ - & 0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + \\ + & - \\ + & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} 0 & + \\ 0 & - \\ 0 & - \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

(2) 3 × 3 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & - & - \\ - & - & - \\ - & + & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & 0 & 0 \\ 0 & 0 & - \\ 0 & + & 0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & + & - \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

(3) 2 × 7 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & + & + & - & - & + & - \\ - & - & - & - & - & - & - \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} + & + & + & - & - & + & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + & + & + & + & + & + \\ + & + & - & + & - & - & - \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ + & + & - & + & - & - & - \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

7 × 2 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & - \\ + & - \\ + & - \\ - & - \\ - & - \\ + & - \\ - & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & 0 \\ + & 0 \\ + & 0 \\ - & 0 \\ - & 0 \\ + & 0 \\ - & 0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + \\ + & + \\ + & - \\ + & - \\ + & - \\ + & + \\ + & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} 0 & + \\ 0 & + \\ 0 & - \\ 0 & - \\ 0 & - \\ 0 & + \\ 0 & - \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & - \\ + & - \\ + & - \\ - & - \\ + & - \\ - & - \\ - & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & 0 \\ + & 0 \\ + & 0 \\ - & 0 \\ + & 0 \\ - & 0 \\ - & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

(4) 3 × 5 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & + & - & - & - \\ - & - & - & - & - \\ - & - & + & - & + \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & + & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & + & - & + \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + & + & + & + \\ + & + & - & - & + \\ + & - & + & + & - \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} + & 0 & 0 & 0 & 0 \\ + & 0 & - & - & 0 \\ + & - & 0 & 0 & - \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

(5) 3 × 7 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & + & + & - & - & + & - \\ - & - & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} + & + & + & - & - & + & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + & + & + & + & + & + \\ + & + & + & + & + & + & + \\ + & + & - & - & - & + & - \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ + & + & - & - & - & + & - \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

(6) 2 × 11 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & + & + & - & + & + & - & + & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} + & + & + & - & + & + & - & + & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + & + & + & + & + & + & + & + & + & + \\ + & + & + & - & + & - & - & + & - & - & - \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ + & + & + & - & + & - & - & + & - & - & - \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

(7) 3 × 8 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} + & - & - & - & - & - & - & + \\ + & - & - & + & - & - & - & - \\ - & - & + & - & - & - & - & - \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} + & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & + \\ + & 0 & 0 & + & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & - & + & - & 0 & - & 0 & - \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} + & + & + & + & + & + & - & - \\ + & + & + & + & - & + & + & + \\ + & + & + & - & + & + & - & + \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} + & + & + & + & + & + & - & - \\ + & + & + & + & - & + & + & + \\ + & + & + & - & + & + & - & + \end{bmatrix} \end{aligned} \right\}$$

$$Y = \left[\begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & - \\ 0 & + & 0 & + & - & + & 0 & + \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & - & 0 \end{array} \right]$$

(8) 3 × 10 伪随机屏蔽阵列偶

$$\left\{ \begin{array}{l} X = \left[\begin{array}{cccccccccccc} + & - & + & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ + & - & + & - & + & - & - & - & - & + & - & - \\ - & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - & - \end{array} \right], \\ Y = \left[\begin{array}{cccccccc} + & 0 & + & 0 & - & 0 & - & 0 \\ + & 0 & + & 0 & + & 0 & - & 0 \\ - & 0 & - & 0 & + & 0 & - & 0 \end{array} \right] \\ X = \left[\begin{array}{cccccccccccc} + & - & + & - & + & - & - & - & - & + & - & - \\ + & - & + & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - & - \end{array} \right], \\ Y = \left[\begin{array}{cccccccc} + & 0 & + & 0 & + & 0 & - & 0 \\ + & 0 & + & 0 & - & 0 & - & 0 \\ - & 0 & - & 0 & + & 0 & - & 0 \end{array} \right] \end{array} \right.$$

6 结论

本文提出了一种新的最佳信号即伪随机屏蔽二进制阵列偶,研究了伪随机屏蔽二进制阵列偶的性质、谱特性、存在的必要条件,这些研究丰富了最佳信号理论.本文利用计算机搜索出了若干体积的伪随机屏蔽二进制阵列偶.搜索结果表明伪随机屏蔽二进制阵列偶的存在范围比较广泛、数量较多,可以为实际工程的应用提供更多的选择.

参考文献:

- [1] 赵晓群,何文才,王仲文,等.最佳二进制阵列偶理论研究[J].电子学报,1999,27(1):34-37.
ZHAO Xiao-qun, HE Wen-cai, WANG Zhong-wen, et al. The theory of the perfect binary array pairs[J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27(1): 34-37. (in Chinese)
- [2] 蒋挺,赵晓群,李琦,等.准最佳二进制阵列偶[J].电子学报,2003,31(5):751-755.
JIANG Ting, ZHAO Xiao-qun, LI Qi, et al. The quasi-perfect binary array pairs[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(5): 751-755. (in Chinese)
- [3] 蒋挺,赵晓群,何文才.双准最佳二进制阵列偶的研究[J].通信学报,2003,24(3):8-15.
JIANG Ting, ZHAO Xiao-qun, HE Wen-cai. The study of the doubly quasi-perfect binary array pairs[J]. Journal of China Institute of Communications, 2003, 24(3): 8-15. (in Chinese)
- [4] 蒋挺,毛飞,赵成林.几乎最佳二进制阵列偶理论研究[J].电子学报,2005,33(10):1817-1821.
JIANG Ting, MAO Fei, ZHAO Chen-lin. The study of almost perfect binary array pairs[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(10): 1817-1821. (in Chinese)
- [5] 李刚,许成谦,刘凯,等.二值自相关二进制阵列偶理论研究[J].北京邮电大学学报,2008,31(2):90-94.
LI Gang, XU Cheng-qian, LIU Kai, et al. Research on Binary

Array Pair with Two-Level Autocorrelation[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2008, 31(2): 90-94. (in Chinese)

- [6] 蒋挺,赵晓群,侯蓝田.最佳屏蔽二进制阵列偶理论研究[J].电子学报,2004,32(2):282-286.
JIANG Ting, ZHAO Xiao-qun, HOU Lan-tian. The study of punctured binary array pairs[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(2): 282-286. (in Chinese)
- [7] 蒋挺,赵成林,周正.准最佳屏蔽二进制阵列偶理论研究[J].电子学报,2007,35(1):78-83.
JIANG Ting, ZHAO Chen-lin, ZHOU Zheng. On Quasiperfect Punctured Binary Array Pairs[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(1): 78-83. (in Chinese)
- [8] 李兆斌,蒋挺,邹卫霞,等.几乎最佳屏蔽二进制序列偶的研究[J].北京邮电大学学报,2007,30(1):28-31.
LI Zhao-bin, JIANG Ting, ZHOU Wei-xia, et al. Research of Almost Perfect Binary Sequence Pairs[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007, 30(1): 28-31. (in Chinese)
- [9] 蒋挺,侯蓝田,赵晓群.最佳屏蔽二进制阵列偶的谱特性[J].燕山大学学报,2002,26(4):363-367.
JIANG Ting, HOU Lan-tian, ZHAO Xiao-qun. The Spectrum Characters of Perfect Punctured Binary Array Pair[J]. Journal of Yanshan University, 2002, 26(4): 363-367. (in Chinese)
- [10] 许成谦,靳慧龙.几乎最佳自相关二元序列偶的谱特性[J].燕山大学学报,2003,27(1):13-16.
XU Cheng-qian, JIN Hui-long. Spectrum Characters for Almost Perfect Autocorrelation Binary Sequence Pair[J]. Journal of Yanshan University, 2003, 27(1): 13-16. (in Chinese)

作者简介:



李兆斌 男,1977年生于内蒙古,现为北京邮电大学信息与通信工程学院博士研究生.主要从事最佳信号的设计与应用方面的研究.
E-mail: besibesti@163.com



蒋挺 男,1962年生于四川省威远,2003年于燕山大学获得博士学位,现为北京邮电大学信息与通信工程学院教授、博士生导师,主要从事通信技术、信息论等方面的研究.
E-mail: tjiang@bupt.edu.cn