

PSK/PPM组合信号*

周先敏** 申广军

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】从强探测、高分辨、低截获和抗干扰角度出发,探索了一种相移键控(PSK)信号和脉冲位置调制(PPM)信号组合而成一种新的雷达信号PSK/PPM,给出了波形构造,推导了它的模糊函数。理论分析和大量的计算模拟表明组合信号具有大时宽带宽积(BT),BT相对于单一单制信号PPM提高 Q 倍,相对于PSK提高 M 倍,信号更具复杂性,且易于产生。

关键词 雷达; 信号; 模糊函数; 脉冲位置调制; 相移键控

中图分类号 TN958.3 文献标识码 A

PSK/PPM Hybrid Radar Signal

Zhou Xianmin Shen Guangjun

(College of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract From the point view of strong detection, high resolution, low probability of intercept(LPI) and anti-jamming, searched a new type of radar signal PSK/PPM which composed of Phase Shift Keying(PSK) and Pulse Position Modulation(PPM), presented the waveform construction and deduced its Ambiguity Function(AF). Theory analysis and great amount of computer simulation indicate that this composed signal has high BT value. To single modulated signal PPM, hybrid signal PSK/PPM's BT value is enhanced Q times; to PSK signal, it's increased M times. At the same time it is easy to generate this kind of signal with even more complexity.

Key words radar; signal; ambiguous function; pulse position modulation; phase shift keying

脉冲压缩信号是现代雷达广泛采用的一种信号形式,传统的脉压信号为单一调制信号。研究及实践表明单一调制的脉冲压缩信号、复杂度、时宽带宽积受到一定限制,用组合信号替代常规的单一调制信号的研究是近年来雷达波形设计中倍受人们关注的课题^[1,2]。本文主要探讨群补码和脉冲位置调制组合波形,其过程主要是在脉冲位置调制(Pulse Position Modulation, PPM)的基础上与非周期二相子脉冲序列集合调制相结合的一种雷达波形。根据最佳PPM序列得到的PPM信号是一种特殊的重复周期参差脉冲串信号,脉冲和脉冲的间隔在一定范围内均匀分布,使相关函数和模糊函数的旁瓣得到了降低,模糊函数亦呈图钉型。采用群补码矩阵每行互补的特性,对PPM序列的 n 个脉冲进行相位调制,使相关函数和模糊函数的主副比得到进一步的提高。

2001年8月31日收稿

* 国家自然科学基金资助项目,编号:60272007

** 女 59岁 大学 教授 主要从事信息和信号处理技术方面的研究

1 组合波形的构造

PPM序列由 N 个字节组成，每个字节有 M 比特长，且每个字节中刚好有一个比特为1，其他比特为0。即PPM序列是一长度为 $M \times N$ 的特殊二元序列 $\{X_i\}$ ， $(i = 0, 1, \dots, M \times N - 1)$ 。记非循环自相关函数为：

$r(k) = \sum_{i=0}^{MN-k-1} x_i x_{i+k}$ 。对于所有非零 k 都满足 $r(k) = 0$ 的序列称为最佳PPM序列。若用 d_i 表示PPM序列中第 i 个1所在位置，因PPM序列共含有 N 个1，故PPM序列可以用整数序列 $D = \{d_0, d_1, \dots, d_{N-1}\}$ 来唯一描述^[3]。

最佳PPM序列的非周期自相关函数小于等于1，采用最佳PPM序列构造的信号实现低距离旁瓣^[3]，PPM信号是一种脉冲串信号，它在不减小信号带宽的前提下加大了信号的持续期。再利用群补码来对每个比特进行相位调制，增大信号的带宽，实现组合波形的大BT。

群补码(组)比常规二相码序列可以获得高的主旁瓣比和抗干扰能力。设 C 是由 P 长度为 Q 的二相序列组成的群补码集合， $C_i (i=0, 1, \dots, P-1)$ 为子码序列，则矩阵 C 为

$$C = [C_0, C_1, \dots, C_{P-1}]^T = [c_{ij}]_{P \times Q} = \begin{bmatrix} c_{00} & c_{01} & \dots & c_{0Q-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{P-1,1} & c_{P-1,2} & \dots & c_{P-1,Q-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 $|c_{ij}| = 1$ ，设各子脉冲序列 C_i 的非循环自相关函数为 $R_i(k)$ ，群补码的非循环自相关函数为

$$R(k) = \sum_{i=1}^P R_i(k) = \begin{cases} PQ & k = 0 \\ 0 & 0 < k < P-1 \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可以看出用 n 个长度相同，码形不同的序列对 n 个脉冲分别进行调相，结果是在 $0 < k < P-1$ 区间内的旁瓣为0，而当 $k = P$ 时，旁瓣主要取决于码序列的非周期互相关函数 $R_{C_i, C_j}(k), i \neq j$ ，故选择合适的群补码构造对旁瓣有至关重要的作用。

组合波形是在PPM的基础上将每个比特分成 Q 等份进行相位调制，即用一个群补码子码序列来调制一个比特，得到组合波形的包络为

$$u(t) = \sum_{i=0}^{P-1} \sum_{j=0}^{Q-1} c_{ij} u_0 [t - d_i T_1 - j T_2] \quad (3)$$

式中 T_2 为采用脉冲压缩的二相群补码序列的相位脉冲宽度； $T_1 = QT_2$ 为一个PPM比特宽度； $u_0(t)$ 为子脉冲为

$$u_0(t) = \begin{cases} 1/\sqrt{T_1} & 0 < t < T_1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

如果取 $N=8$ ， $M=6$ 位的PPM序列 $\{d_i\} : \{6, 10, 18, 20, 36, 42, 45\}$ ，群补码矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}_{8 \times 10}$$

每个PPM比特宽度 $T_1 = 0.2 \mu\text{s}$ ，群补码子脉冲 $T_2 = 0.02 \mu\text{s}$ ，生成组合信号的波形如图1所示。图中 B 为归一化幅度。

2 模糊函数

组合信号复包络的数学表达式可改写为

$$u(t) = \sum_{n=0}^{PQ-1} c_n u_0 [t - d_{\lfloor \frac{n}{Q} \rfloor} T_1 - l_n T_2] \quad (5)$$

而 $n = iQ + j$, $c_n \in C$, $d_{\lfloor \frac{n}{Q} \rfloor} = d_i$, 下标 $\lfloor \frac{n}{Q} \rfloor$ 表示 n 除以 Q 后取整, $l_n = n \bmod Q$ 。令 $d'_n = d_{\lfloor \frac{n}{Q} \rfloor}$, $m - n = r$, $l_{n+r} - l_n = (n+r) \bmod Q - n \bmod Q = r \bmod Q$, 则根据模糊函数的定义, 可得到模糊函数为

$$\begin{aligned} c(\mathbf{t}, \mathbf{x}) = & \frac{1}{T_1} \sum_{r=-PQ+1}^0 \sum_{m=0}^{PQ-1-|r|} c_{m+|r|} c_m^* \exp[j2\pi\mathbf{x}(d'_{m+|r|} T_1 + l_{m+|r|} T_2)] X_0([\mathbf{t} - (d'_m - d'_{m+|r|}) T_1 - |r| T_2, \mathbf{x}) + \\ & \frac{1}{T_1} \sum_{r=1}^{PQ-1} \sum_{n=0}^{PQ-1-r} c_n c_{n+r}^* \exp[j2\pi\mathbf{x}(d'_n T_1 + l_n T_2)] X_0([\mathbf{t} - (d'_{n+r} - d'_n) T_1 - r T_2, \mathbf{x}) \end{aligned} \quad (6)$$

式中 $X_0(\mathbf{t}, \mathbf{x})$ 是单载频矩形脉冲的模糊函数

$$x_0(\mathbf{t}, \mathbf{e}) = \begin{cases} \exp j2\pi(T_1 - |\mathbf{t}|) \left[\frac{\sin \pi \mathbf{e}(T_1 - |\mathbf{t}|)}{\pi \mathbf{e}(T_1 - |\mathbf{t}|)} \right] \frac{(T_1 - |\mathbf{t}|)}{T_1} & |\mathbf{t}| \leq T_1 \\ 0 & |\mathbf{t}| > T_1 \end{cases} \quad (7)$$

式(6)表明组合信号的模糊函数是由单载频矩形脉冲的 X 函数沿 t 轴移至 $t = (d'_m - d'_n) T_1 + |r| T_2$ 处, 并经调相系数的乘积 $c_n c_m^*$ 及相位因子 $\exp[j2\pi\mathbf{x}(d'_n T_1 + l_n T_2)]$ 加权后叠加而得到的。

3 分析与讨论

群补码信号模糊图、PPM信号和组合信号的模糊图如图2~4所示。群补码矩阵为 8×10 , PPM信号以 $N = 8$, $M = 6$ 的 PPM 序列 D , $T_1 = 0.2 \mu\text{s}$ 。从图中可看出采用群补码和最佳 PPM 序列脉冲压缩的组合波形, 除了模糊函数基底分布均匀, 峰值较小外, 由于 PPM 的参差作用, 峰值副瓣也大大下降, 随着 PPM 序列长度的增加这一作用将明显加强。群补码序列的互补特性对副瓣有明显的抑制作用, 相对于图3而言, 组合信号的基底明显要低。PSK/PPM 信号产生, 相对于 FSK/PSK 信号产生必须进行频率综合, 再利用上变频来获得基本的射频形式的 FSK 则简单得多。分析表明组合信号的 BT 积相对于 PPM 提高 Q 倍, 相对于 PSK 提高了 M 倍。

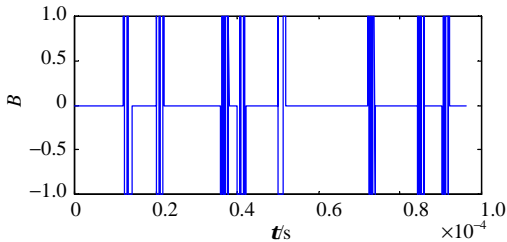


图1 组合信号的波形

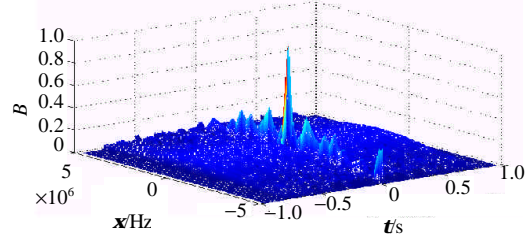


图2 群补码信号的模糊图

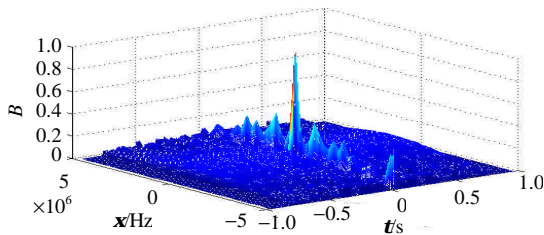


图3 PPM信号的模糊图

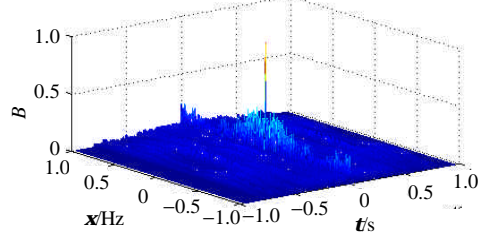


图4 组合信号的模糊图

4 结 论

综上所述,理论分析和计算机模拟表明,群补码与脉冲位置调制构成的新型组合波形具有接近理想的距离-多谱勒模糊特性,有效地提高雷达对目标的分辨能力,它比单一PPM信号或PSK信号更大的时宽带宽积。同时,由于群补码本身在结构上比单一相位编码复杂,加上PPM序列的伪随机参差作用,组合信号具有较优的低截获概率性、抗干扰性及易于产生的特点。

参 考 文 献

- 1 Donohoe J P, Ingels F M. The ambiguity properties of FSK/PSK signals[C]. IEEE Proceeding of International Radar Conference, 1990. 268-273
- 2 王光泰,周先敏,徐继麟,等. 一种新的低截获概率雷达信号[J]. 电子科技大学学报, 1997, (26): 137-139
- 3 申广军,潘永宏,周先敏. PPM信号的特性分析[C]. 2000中国东西部地区声学学术会议论文集, 2000中国东西部地区声学学术会, 西昌, 2000

编 辑 刘文珍

· 简 讯 ·

新闻出版总署报刊司关于学术期刊级别等问题的答复

长期以来,学术界对国内科技期刊分等级的问题十分关注,许多科技期刊的出版部门也为此付出了不少的精力。国家是否对全国的科技期刊定了学术等级,以及管理部门对定级的看法怎样?本编辑将从《四川期刊界》得到以上有关问题的信息摘录如下,供读、作者参考。

问:期刊有无国家级、地方级的区别?

答:截止到2001年底,我国有期刊8889种,这些期刊都是经新闻出版总署批准并配发国内统一刊号的,凡获得国内统一刊号的期刊,均为正式出版物。新闻出版总署从未就学术水平的高低为这些期刊划分过级别,仅从出版管理的角度,按照期刊主管单位的不同将期刊分成中央期刊和地方期刊,这样划分是为了按照期刊的主管单位的不同对期刊实施有效的行政管理。有的期刊在封面上刊载“国家一级期刊”等字样,不是新闻出版总署组织评选出来的,并非政府行为。

问:有的期刊在封面上刊载“××省一级期刊”、“××省二级期刊”等字样,与期刊的学术水平有关吗?

答:这种标识确实存在,这是一些省、自治区、直辖市新闻出版管理部门每年对本地区的期刊进行综合评比的结果,主要是督促期刊不断提高质量。这种评比是滚动进行的,每年评比的结果都有变化。这种由各地组织的评比,由于各地的评比标准不统一,也不是单从学术水平的高低对期刊进行评价,是地方新闻出版管理部门就本地期刊的出版质量进行的一种综合评价,因此不能完全以此来衡量期刊的学术水平。

问:“核心期刊”是怎么回事?

答:“核心期刊”是国内几所大学的图书馆根据期刊引文率、转载率、文摘率等指标确定的。确认核心期刊的标准也是由某些大学图书馆制定的,而且各学校图书馆的评比、录入标准也不尽相同。新闻出版管理部门也未参加过此类评选活动。

问:目前新闻出版管理部门有无制定衡量学术期刊质量的权威标准?

答:迄今为止,我国新闻出版管理部门尚未从各类学术期刊的学术水平这一角度制定过标准,因为衡量学科众多的学术期刊的学术水准是一件非常复杂、难度非常大的工作,不是新闻出版管理部门可以简单地作出评价的。而且据我们所知,即使一些发达国家,也没有出版行政管理部门制定衡量自己国家的学术期刊学术水平的客观标准。1992年国家科委、中共中央宣传部、新闻出版署共同发布了《科学技术期刊质量要求》,1995年,新闻出版署发布了《社会科学期刊质量管理标准》,这两个文件是新闻出版管理部门从管理的角度对自然科学期刊的5大类、社会科学期刊的7大类期刊进行质量监管的依据。这两个标准中,虽然对学术理论类期刊的业务标准有要求,但都是一些原则性的,不能仅以此作为判断期刊学术水平高低的标准。

· 本刊讯 ·