

文章编号:1001-9081(2010)12-3218-04

基于混沌遗传算法的雷达/干扰机共享信号设计

杨丹丹¹, 刘以安¹, 唐霜天², 吴少鹏²

(1. 江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 中国船舶重工集团公司 第七二四研究所, 南京 210003)

(yangdand86@163.com)

摘要: 雷达/干扰机共享信号的波形设计是电子战中实现雷达/干扰机作战系统能量共享的关键。针对共享信号的性能设计问题, 提出了一种新型的混合混沌遗传优化算法。采用改进的 tent 混沌系统初始化种群, 将混沌特性嵌入到自适应遗传算法的循环体中, 分别设计分段混沌交叉算子和退化混沌变异算子, 避免了搜索过程陷入局部极值的陷阱而快速收敛于全局最优解。通过实验证明, 该方法能够较快地搜索到优化问题的最优解, 验证了混沌遗传算法对雷达/干扰机共享信号优化问题的有效性。

关键词: 共享信号; 雷达/干扰机一体化; 混沌; 自适应遗传算法

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Design of radar/jammer shared signal based on chaos genetic hybrid algorithm

YANG Dan-dan¹, LIU Yi-an¹, TANG Shuang-tian², WU Shao-peng²

(1. School of Information Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China;

2. 724 Institute, China Shipbuilding Industry Corporation, Nanjing Jiangsu 210003, China)

Abstract: Design of radar and jammer share signal waveform is the key of energy sharing for radar and jammer integration system in electronic warfare. A new chaos genetic hybrid algorithm was proposed. The improved tent chaos system was used to initialize species population. Chaos characteristic was added into adaptive genetic algorithm circle. A new chaotic section crossover operator and a chaos annealing mutation operator were designed to avoid search being trapped in local minimum and convergence to a global minimum. The experimental results show that the proposed algorithm can get globally optimal solution quickly, and chaos genetic algorithm can solve the problem of radar and jammer shared signal optimization effectively.

Key words: shared signal; radar and jammer integration; chaos; adaptive Genetic Algorithm (GA)

0 引言

当今信息时代的电子作战系统中, 雷达和干扰机都起着举足轻重的作用。雷达可以对目标进行准确的探测、定位和跟踪; 侦察干扰机可以阻止和破坏对方对电磁频谱的利用, 确保己方信息系统的安全。雷达/干扰机一体化是指将二者建成一体实现硬件共享, 以减小电子战装备的体积、重量和能耗, 同时实现发射信号(能量)的共享, 即将干扰机发射信号干扰对方雷达平台的同时, 也对对方雷达及作战目标进行探测定位, 这种信号称为雷达/干扰机共享信号^[1-2]。

目前国内外对雷达/干扰机一体化信号波形已经作了深入的研究, 其中随机二相调制编码信号应用最为广泛, 研究发现该信号作为雷达/干扰机共享信号时存在自相关旁瓣过高、随机性程度不高、干扰效果不明显等不足。二相调制共享信号的设计问题属于 NP 难解问题, 很难获得真正意义上的全局最优解, 只能通过局部最优解得到其全局次优解。本文通过建立共享信号优化设计的数学模型, 将混沌理论引入到智能优化算法——遗传算法(Genetic Algorithm, GA)中, 对该问题进行求解, 克服了遗传算法后期搜索速度慢、易陷入局部解的缺点, 获得了较优的结果。

1 二相调制共享信号模型建立

随机二相编码信号是通过相位的离散编码得到的一种脉

冲压缩信号, 其发射的信号为频率相同而起始相位不同的子脉冲组成的高频宽脉冲。子脉冲的起始相位角是由调制它的伪随机序列决定的。对于随机二相编码信号 $s(t)$, 可用式(1)表示^[2]:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{PT_p}} \sum_{k=0}^{P-1} C_k u(t - kT_p) \quad (1)$$

子脉冲函数:

$$u(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < T_p \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

二进制伪随机序列 $c_k = e^{j\varphi_k} \in \{+1, -1\}$, 也可以用序列 $q_k = \{0, 1\}$ 表示, 即 0 为 -1, 1 为 +1, 进而转换为遗传算法中的二进制基因位。 T_p 为子脉冲宽度; P 为子脉冲个数。

普遍应用于现代雷达系统的脉冲压缩技术使得雷达不仅具有宽脉冲信号对远距离目标的检测能力, 而且具有窄脉冲信号的高距离分辨能力。由于脉冲压缩完成的实际上是扩频宽脉冲信号的相关处理, 所以一定码长的最优脉冲信号应该是非周期自相关函数旁瓣尽可能小, 对于一二相序列: $u(i)$, $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$, $j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1)$, $u(i) \in \{-1, 1\}$, 定义其自相关函数为^[3]:

$$A(u, j) = \sum_{i=0}^{N-1-|j|} u_i \cdot u_{i+j} \quad (2)$$

所以最大旁瓣峰值为:

收稿日期: 2010-05-18; 修回日期: 2010-07-27。

基金项目: 国防预研应用基础研究基金资助项目(A1420061266); 教育部重点科学研究基金资助项目(105087)。

作者简介: 杨丹丹(1986-), 女, 江苏高邮人, 硕士研究生, 主要研究方向: 人工智能、模式识别、信号处理、雷达对抗; 刘以安(1963-), 男, 江苏涟水人, 教授, 博士, 主要研究方向: 数据融合、雷达对抗、模式识别、智能系统; 唐霜天(1968-), 男, 江苏南京人, 研究员, 主要研究方向: 雷达总体仿真与总体设计; 吴少鹏(1960-), 男, 江苏南京人, 研究员, 主要研究方向: 雷达总体及信号处理。

$$E_1 = \max_{j \neq 0} |A(u, j)| \quad (3)$$

二相编码序列另一个重要特征是其自相关旁瓣能量,实现自相关旁瓣能量极小优化才能使得旁瓣能量均匀分散开来,距离分辨率高,定义其自相关旁瓣能量函数为^[3]:

$$E_2 = \sum_{i=1}^{N-1} A^2(u, i) \quad (4)$$

作战系统中,信号干扰主要形式有欺骗式干扰和遮盖性干扰,本文着重讨论后者。遮盖性干扰是指用噪声或类似噪声的干扰信号遮盖或淹没有用信号,阻止雷达检测目标信息。随机二相编码作为干扰信号对方雷达信号实施压制干扰时,其遮盖性能的高低由序列的随机性程度决定,而随机性是由信息熵的大小来评判的。理论研究已证明,确定性越大的信息熵越小,具有最大熵特性的干扰波形为最佳干扰波形。即伪随机二相编码序列的信息熵值越大,随机性程度越高,干扰效果越明显。

对于一离散随机二相编码序列 $u(i) = (u_0, u_1, \dots, u_{N-1})$, $u_i \in \{-1, +1\}$, 这里 u_i 取值为 -1 或 $+1$, 取值个数 $M = 2$, 该序列平均信息熵表示为^[4]:

$$H(u) = - \sum_{i=1}^M p_i \lg p_i \quad (5)$$

$$p_i = f_i / \sum_{j=1}^M f_j; i = 1, 2$$

其中: f_1, f_2 分别为序列 u 中 -1 和 $+1$ 的频数, 根据熵基本性质, 即 $p_1 = p_2$ 时, 实现信号所含熵值的最大化, 干扰效果最优。

从上述两个方面考虑, 要实现雷达/干扰机一体化信号的最佳性能, 需要满足两个条件: 一是雷达探测性能最佳, 即信号自相关旁瓣及旁瓣能量尽可能小; 二是干扰性能最佳, 即该序列的信息熵值最大化, 统一转化为求最小值问题, 目标函数定义为:

$$E = \omega_1 \max_{j \neq 0} |A(u, j)| + \omega_2 \sum_{i=1}^{N-1} A^2(u, i) + \omega_3 \sum_{i=1}^M p_i \lg p_i \quad (6)$$

其中: 式(6)的第三项为 $-H(u)$, 统一求得三项之和的最小值; $\omega_i (i = 1, 2, 3, \sum_{i=1}^3 \omega_i = 1)$ 为目标函数的加权系数, 可以调整加权系数改变三项之间的权重关系, 获取最优序列。

2 混沌遗传算法

混沌是自然界中一种较为普遍的非线性现象, 它看似混乱, 却有着精致的内在结构, 具有随机性、遍历性及规律性等特点, 在一定范围内能按其自身的“规律”不重复地遍历所有状态。可以利用其随机性、全局性和对初始状态的敏感性来获得全局的最优解, 基于混沌理论的混沌优化算法实际上是一种新型的随机搜索算法。

GA 是一种基于自然进化和选择机制自适应的搜索算法, 该算法具有极强的解决困难问题和搜索全局最优解的能力。选择使用遗传算法来解决最优优化问题是为了避免陷入局部最优。事实上, 只有少数的优秀个体能够在遗传选择操作中保留下来, 经过多次的迭代后, 群体的数目将逐渐减少, 最终可能导致过早收敛到局部最优解上。

本文利用混沌优化的遍历性和遗传算法的搜索机制, 构造了一种混沌遗传算法来解决雷达/干扰机共享信号优化问题。遗传算法后期搜索速度慢, 导致算法在搜索过程中容易陷入局部解, 本文利用混沌优化算法对其进行改进。将混沌思想嵌入到变异和交叉算子中, 快速收敛到问题最优解。

2.1 改进的 tent 混沌系统

Tent 映射又称为帐篷映射, 该映射结构简单, 且迭代过程适合计算机运行, tent 映射具有很好的遍历均匀性, 而模式搜索法的寻优思路与最速下降法相同, 但无需求导, 迭代简单。其表达式为:

$$X_i^{u+1} = \begin{cases} 2X_i^u, & 0 \leq X_i^u \leq 0.5 \\ 2(1 - 2X_i^u), & 0.5 < X_i^u \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

过去大量研究应用到 Logistic 映射, 利用 Logistic 映射产生伪随机二相编码信号, 但产生的随机数序列极不均匀, 取值范围呈现中间低、两边高的分布。采用控制参数 $\mu = 4.0$ 的 Logistic 映射, 形式如下^[6]:

$$X_i^{(u+1)} = \mu_i X_i^{(u)} (1 - X_i^{(u)}); \mu = 4.0 \quad (8)$$

Tent 混沌映射的优点是产生的序列均匀且迭代速度快; 但其缺点是映射存在小周期和不稳周期点, 且经过较大次数的迭代序列会趋向不动点 0, 同时序列还存在小周期和不稳周期点, 例如 4 周期: $(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)$; 还存在不稳周期点, 例如 $0.25, 0.5, 0.75$ 都将迭代到不动点 0^[6]。由于计算机中随机数的位数有限, 而 tent 映射的计算过程实际是无符号左移^[8], 通过实验发现经过多次迭代后序列又会趋向不动点 0。本文利用上述特性, 对 tent 映射进行改进, 修改扰动因子 $0.00001 \times \text{rand}$, 使其在经过较大次数的迭代后不会趋向不动点。

图 1 是将 Logistic 映射迭代 30 000 次得到的 $[0, 1]$ 分布图, 初始值取 0.4567, 曲线显示在 $[0, 0.1]$ 和 $[0.9, 1]$ 取值概率较高, 概率最高点多达 1 344 次, 而 $[0.1, 0.9]$ 平均取值达到 220 次。当最优值落在中间位置时, 需要多次迭代才能得到最优解, 这大大降低了算法的效率。

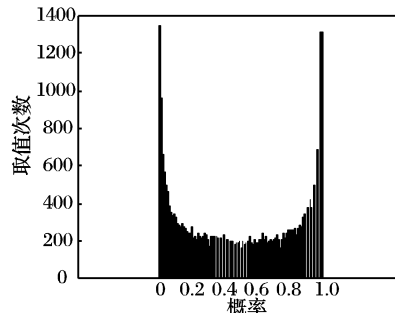


图1 Logistic 混沌映射概率分布

图 2 为采用本文方法, tent 映射迭代 30 000 次在 $0 \sim 1$ 各点的概率分布图, 初始值取 0.4567, 其中最大取值次数是 346 次, 平均取值次数为 300, 该序列服从均匀分布, 利用改进后的 tent 较容易获得全局最优解, 大大提高了算法的搜索效率。

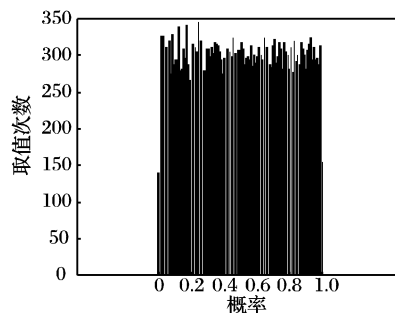


图2 改进的 tent 混沌映射概率分布

2.2 离散化变量的混沌优化方法

由于二相调制编码信号采用二进制编码方式, 本文在一般连续混沌优化搜索方法的基础上采用 Sigmoid 函数离散化处理, 产生一种有效的离散化变量混沌优化方法。不失一般

性,考虑如下的优化问题:

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

定义一个可行解 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in \{0, 1\}$, n 为求解的变量个数,离散化混沌优化步骤如下。

1) 给式(7)序列赋 n 个微小差异的初值,得到 n 个混沌变量,给定 $\beta_i^u (i = 1, 2, \dots, n)$;依次取 $u = 1, 2, \dots, m$, 可得到 m 个初始解群。

2) 将选定的 n 个混沌变量 $\beta_i^{(u+1)}$ 分别引入到问题求解的优化变量中,通过离散化处理转化为二相编码信号。应该选择恰当的转换函数将连续的位置量转换为对其离散态的趋近概率,这里引进 Sigmoid 函数进行离散化处理,引入该函数后的转换函数可表示为:

$$\text{sig}(\beta_i^{u+1}) = 1 / (1 + \exp(-\beta_i^{u+1})) \quad (9)$$

$$x_i^{u+1} = \begin{cases} 1, & \rho_i^{u+1} < \text{sig}(\beta_i^{u+1}) \\ 0, & \rho_i^{u+1} > \text{sig}(\beta_i^{u+1}) \end{cases}$$

ρ_i^{u+1} 是一个 $[0, 1]$ 平均分布的随机数,与转换概率比较大小来确定 x_i^{u+1} 的值为 1 或者为 0。

3) 混沌搜索,如果 $f(X^{(u+1)}) < f(X^{(u)})$, 则 $f^* = f(X^{(u+1)})$, $X^* = X^{(u+1)}$ 。

4) 如果满足终止条件,则结束搜索,输出最优解 X^* , f^* , 否则转 2)。

2.3 分段混沌交叉算子

1) 交叉的确定。选择交叉区间 $L_c \subseteq (0, 1)$ 。在进行交叉操作时,将选出的 2 个配对个体,根据式(7)所产生的 1 个独立混沌序列的当前值 z_{k1} 确定其是否进行交叉。若 $z_{k1} \in L_c$, 则表明将进行交叉操作,否则,不进行交叉。

2) 交叉位的确定。根据染色体的长度,将其分为若干段,可以某几位或 1 位一段,将区间 $(0, 1)$ 也分为若干子区间,其中每个子区间分别对应染色体中的一个基因段。对于需要进行交叉操作的个体,根据式(7)所产生的另一个独立混沌序列的当前值 z_{k2} 所属的子区间来确定进行交叉操作基因段的位置。

3) 将所选定的 2 个染色体相应基因段进行交换,产生相应的新个体,从而完成混沌交叉^[8]。

2.4 退化的混沌变异算子

本文设计了一种混沌变异算子,直接采用混沌变量在解空间进行遍历搜索,搜索过程按照混沌自身规律进行,从而非常容易在当前最优解附近区域内获得另一个更优解,进而有效克服了标准 GA 在接近全局最优解时速度明显变慢这一缺陷。

变异算子 以变概率 p_m 对当代种群中的每个染色体进行混沌优化,用 rand 函数产生 $(0, 1)$ 的随机数 p_r , 判断 $p_r < p_m$, 如果成立,则对群体进行上述的离散变量的混沌优化搜索,用优化后的染色体取代原染色体,实现种群的进化,具体流程参照上节中离散化混沌优化的步骤,否则个体不发生变异。在迭代过程中, p_m 采用线性自适应选取,定义为:

$$p_m' = \alpha \cdot p_m; \alpha = 1 - \left(\frac{k-1}{k} \right)^i$$

其中 α 定义为变异算子,这是因为搜索初期希望 (x_1, x_2, \dots, x_r) 变动较大需要较大的 α , 随着搜索的进行, (x_1, x_2, \dots, x_r) 逐渐接近最优点,选用较小的 α , 以便在 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_r^*)$ 所在的小范围内搜索。

基于混沌遗传算法的共享信号优化设计步骤如下:

1) 参数设置,混沌初始化种群;

2) 适应度函数计算,根据目标函数计算种群中个体的适应度值;

3) 选择赋值,根据适应度值大小,采用联赛竞争选择法

进行复制操作;

4) 交叉,利用改进的分段混沌交叉算子执行交叉操作;

5) 变异,利用退化的混沌变异算子执行变异操作,产生新的种群;

6) 判断收敛条件,若达到最大进化代数或得到满意解,则寻优过程结束,否则返回 3)。

3 仿真结果及性能分析

通过运行上述算法编制的一体化信号的优化设计程序,获得一系列设计结果。为了节省计算机运行时间,最大设计信号码长限制在 84 以下,所有程序均在 Matlab 软件上运行。表 1 为通过混合遗传—二进制粒子群算法获得的不同码长的优化序列,表 2 为 10 种码长的优化序列自相关结果。

表 1 不同码长的二相调制共享信号优化设计结果

码长 N	优化序列
13	1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1
25	1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 1
32	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
37	-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
41	-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
53	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
63	-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
67	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
79	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
84	-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

表 2 优化二相编码序列自相关特性

码长 N	旁瓣峰值	码长 N	旁瓣峰值
13	1	53	6
25	3	63	7
32	4	67	7
37	5	79	9
41	5	84	10

表 1、2 实验结果表明,13 位二元序列优化结果与 13 位巴克码序列完全一致,主副瓣比值为 13,充分说明了该算法

的有效性。从多种码长的二元序列搜索结果来看,优化序列的自相关特性良好,旁瓣峰值低,说明优化后的二元序列自相关特性优于随机产生的二元序列,探测性能明显提高。

这里选取上述优化出的32位共享信号作为干扰信号,分别采用两种不同的参数设置,分别标记为共享信号1和共享信号2,被干扰信号采用二相编码信号和线性调频两种信号模型,分别标记为信号1和信号2,信干比(SJR)分别设置为0 dB, -5 dB, -10 dB, -20 dB,其他参数设置如下。

共享信号1 子脉冲宽度 0.05 μs , 脉宽 1.6 μs , 带宽 30 MHz, 码长 32, 载频 100 MHz, 采样频率 400 MHz。

共享信号2 子脉冲宽度 0.1 μs , 脉宽 1.6 μs , 带宽 15 MHz, 码长 32, 载频 100 MHz, 采样频率 400 MHz。

信号1 子脉冲宽度 0.1 μs , 脉宽 1.6 μs , 带宽 15 MHz, 码长 16, 载频 100 MHz, 采样频率 400 MHz。

信号2 脉宽 1.6 μs , 带宽 15 MHz, 载频 100 MHz, 采样频率 400 MHz。

依据上述实验参数,将共享信号1、共享信号2分别对信号1和信号2施加干扰,图3为无干扰时共享信号、信号1和信号2的匹配滤波输出,图4、5分别为不同信干比(Signal-to-Jamming Ratio, SJR)下信号1受共享信号1、2干扰时匹配滤波器输出结果,图6、7分别为不同信干比下信号2受共享信号1、2干扰时匹配滤波器输出结果。

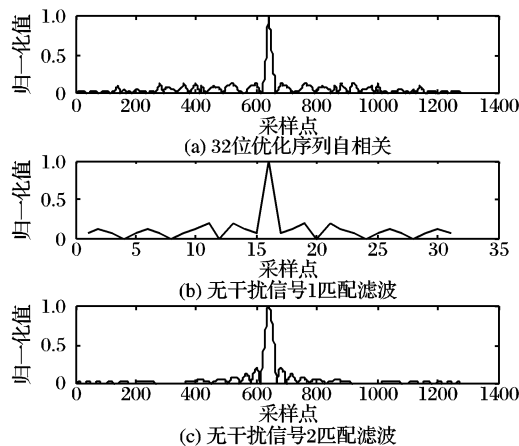


图3 无干扰时信号匹配滤波输出

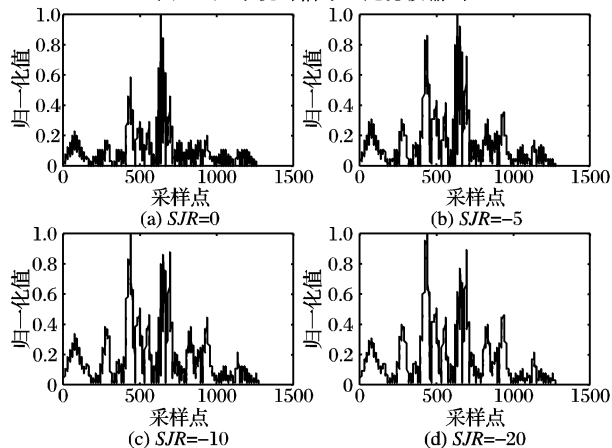


图4 信号1受共享信号1干扰后匹配滤波器输出

结果表明,共享信号具有良好的随机特性,信息熵值极大化,具有良好的干扰效果。在不同的信干比下,共享信号对二相编码信号和线性调频信号都具有明显的干扰效果,随着信干比的降低,施加干扰后匹配输出呈现多峰状态,旁瓣明显增高,主瓣被副瓣淹没,干扰效果更佳。通过图4~7的对比发现,在其他参数不变的情况下,当共享信号的带宽大于被干扰

信号的带宽时,干扰效果比较明显,混合信号匹配输出后主瓣难以识别,出现多目标情况,对方雷达信号难以获取我方信息。当共享信号的带宽与被干扰信号带宽相等时,只能以加大干扰信号的功率、降低信干比为条件,信干比要达到-10 dB以下才能达到一定的干扰效果,当干扰信号功率较低时,主瓣依旧清晰可辨,干扰效果不明显,对方雷达很容易发现我方目标。

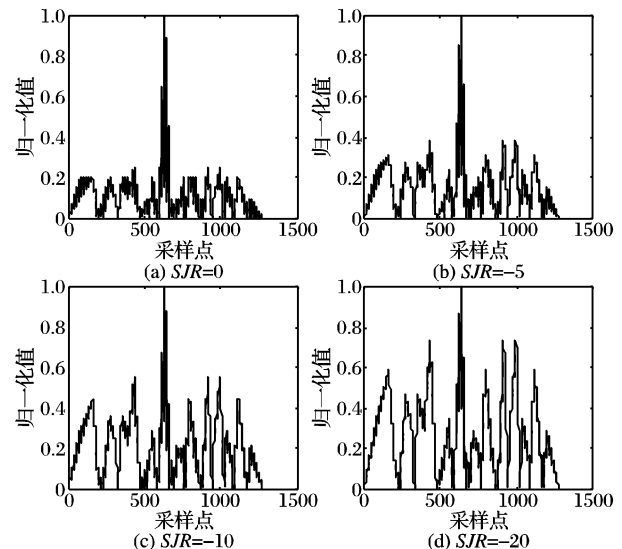


图5 信号1受共享信号2干扰后匹配滤波器输出

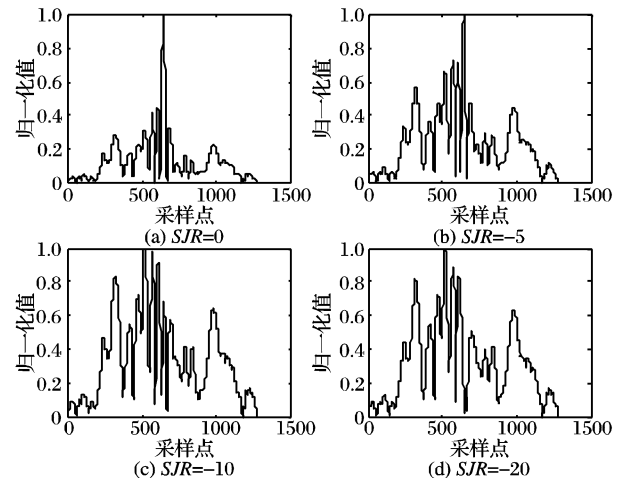


图6 信号2受共享信号1干扰后匹配滤波器输出

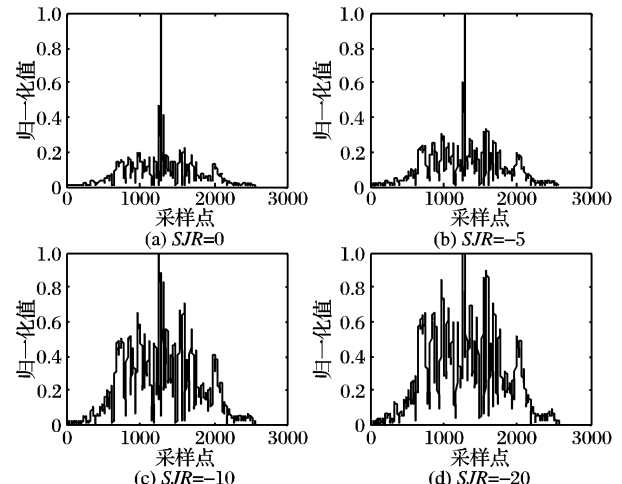


图7 信号2受共享信号2干扰后匹配滤波器输出

为了进一步说明本文提出的优化算法的正确性与有效
(下转第3232页)

算法来与本文算法进行对比。经典的拉普拉斯金字塔融合算法和小波融合算法均采用绝对值极大规则来融合。三种方法的融合结果如图4、5所示;三种融合算法的客观评价结果分别如表1、2所示。

表1 不同方法处理图像组1的性能比较

方法	均方误差	平均梯度
小波变换	1.80	1.56
拉普拉斯金字塔	1.90	1.68
本文方法	1.70	1.69

表2 不同方法处理图像组2的性能比较

方法	均方误差	平均梯度
小波变换	0.77	0.437
拉普拉斯金字塔	0.77	0.439
本文方法	0.73	0.442

首先从融合图像的视觉效果来看,小波融合算法在边缘部分出现了明显的模糊和虚影,而拉普拉斯融合算法的融合效果稍微有所改进,而本文方法融合结果要明显地优于其他两种经典融合算法。同时实验所示的两种客观评价结果也显示,本文方法的均方误差最小,说明本文算法与理想图像差距越小;平均梯度最大,说明融合图像保留了源图像的更多微小细节和纹理特征。由此可见,本文提出的算法较好地保留了源图像的有用信息,与标准图像差距最小,体现出良好的融合性能,说明了Bandelet变换在图像融合中的适用性。

4 结语

本文设计提出了一种基于第二代Bandelet和区域特性的

多聚焦图像融合算法,利用Bandelet变换对图像最稀疏表示的特点,能够有效提取原始图像中的特征信息,在融合规则中考虑图像的局部相关性和区域特性,对几何流和Bandelet系数分别采用不同的融合规则。实验结果证明了本文算法的有效性。

参考文献:

- [1] CANDES E J. Monoscale ridgelets for the representation of images with edges [R]. California: Stanford University, 1999.
- [2] CANDES E J. Ridgelets: Theory and applications [D]. California: Stanford University, 1998.
- [3] CANDES E J, DONOHO D L. Cuvelets [R]. California: Stanford University, 1999.
- [4] DO M N, VETTERLI M. The contourlet transform: An efficient directional multi-resolution image representation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.
- [5] 陶观群, 李大鹏, 陆光华. 基于小波变换的不同融合规则的图像融合研究[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(2): 173-176.
- [6] le PENNE E, MALLAT S. Image compression with geometrical wavelets [C]// Proceedings of 2000 International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 661-664.
- [7] le PENNE E, MALLAT S. Bandelet image approximation and compression [J]. SIAM Journal of Multiscale Modeling and Simulation, 2005, 4(3): 992-1036.
- [8] WANG HAIHUI, PENG JIAXIONG, WU WEI. Fusion algorithm for multisensor images based on the discrete multiwavelet transform [J]. IEE Proceedings of Image Signal Processing, 2002, 149(5): 1243-1246.

(上接第3221页)

性,本文与标准GA进行了对比测试,计算中相关参数设置为:群体规模200,个体长度为32,即寻求码长为32的最优二相编码信号,交叉概率初值为0.8,变异概率初值为0.6,GA与本文算法都随机运行100次,计算结果见表3。

表3 本文算法与标准GA性能比较

优化算法	全局最优解	最优解的平均值	收敛到最优解的次数
标准GA	98.04	110.25	75
本文算法	83.14	84.06	90

从表2可以看出,在100次实验结果中,标准GA的全局最优解为98.04,要大于本文算法的最优解84.13,GA的平均值也远大于本文算法的平均值,说明了本文算法求解的质量要高于传统GA。本文算法在很短的时间内就可收敛到全局最优解,而标准GA虽然花费了很长时间,但也没能得到令人满意的结果,GA获得最优解的概率为75%,运用本文算法获取最优解的概率为90%,说明本文算法可以快速收敛到全局最优解,收敛性良好,准确率高,这充分证明了改进后的混沌遗传算法的有效性。

4 结语

针对标准GA的缺陷,改进先前的tent混沌系统,采用离散化混沌方法生成初始种群,进而提高了初始种群的质量及寻优效率。设计了一种分段混沌交叉算子和混沌退化变异算子,克服了标准GA中常规交叉算子和变异算子在进化过程中所出现的“早熟现象”,有效避免了陷入局部最优的陷阱,

及时跳出“停滞状态”,提高了GA的收敛速度。该方法应用于雷达/干扰机共享信号的优化设计中,为电子战中一体化信号的设计提供了一个有效的途径。

参考文献:

- [1] 张勇. 雷达与干扰的混沌一体化系统及其共享信号[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [2] 徐崔春. 雷达与干扰机一体化中信号共享的概念与波形设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2002.
- [3] 邓海. 模拟退火算法及其在相位编码信号设计中的应用[J]. 电子学报, 1996, 24(1): 83-87.
- [4] 叶菲, 罗景青. 基于熵最优分组的雷达信号参数特征提取算法[J]. 现代防御技术, 2008, 36(1): 97-100.
- [5] 吕晓明, 黄考利, 连光耀. 基于混沌遗传算法的测试选择优化问题研究[J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29(3): 265-268.
- [6] 单梁, 强浩, 李军, 等. 基于Tent映射的混沌优化序列算法[J]. 控制与决策, 2005, 20(2): 179-182.
- [7] 张浩, 张铁男, 沈继红, 等. Tent混沌粒子群算法及其在结构优化决策中的应用[J]. 控制与决策, 2008, 23(8): 857-862.
- [8] 康波, 陈光蹊, 吕炳朝. 基于混沌遗传算法的故障测试集最小化方法[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(1): 100-103.
- [9] XU C C, CHEN T Q. Conception of signal sharing in integrated radar and jammer system and the integrated signal design [C]// IC-CCAS 2002: IEEE 2002 International Conference on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions. Washington, D C: IEEE Computer Society, 2002: 502-505.
- [10] 潘达儒, 杜明辉. 混沌遗传算法在IP网络组播路由中的应用[J]. 计算机工程, 2005, 31(23): 11-13.