

一种离散人工鱼群优化的部分传输序列算法

祝杨坤, 达新宇, 张亚普, 王 舒

(空军工程大学 信息与导航学院, 西安 710077)

摘 要: 基于组合优化鱼群算法和 PTS 方法, 提出一种离散鱼群优化的部分传输序列 (DAFSA-PTS) 算法. 该算法通过设计新的鱼群移动行为策略, 改善组合优化鱼群算法的寻优特性, 通过替换人工鱼当前位置向量与较优位置向量中相应元素实现位置更新, 使相位因子序列快速准确的向最优方向收敛, 进而求得最低峰均功率比 (PAPR). 仿真表明: DAFSA-PTS 算法的 PAPR 性能逼近于传统 PTS 算法, 当子块分组数为 12 时, 相差 0.4 dB, 复杂度降低了 85.35%; 并且在相同复杂度下, 优于粒子群优化的 PTS 算法, 精度提高 0.2 dB.

关键词: 正交频分复用; 峰均功率比; 部分传输序列; 离散鱼群算法

中图分类号: TN914

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)09-0071-05

A Discrete Artificial Fish School Optimized PTS Algorithm

ZHU Yang-kun, DA Xin-yu, ZHANG Ya-pu, WANG Shu

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: A novel discrete artificial fish school algorithm (DAFSA) was proposed, in which a new strategy is designed about fish moving behavior, improved the optimization ability of AFSA in combinatorial optimization problems and Partial transmit sequence (PTS) algorithm. By replacing the corresponding element of artificial fish in the current position with the optimal position vector to realize the position update, which made the search trajectories converge to the best phase factor quickly, and then get the lowest peak-to-average power ratio (PAPR). The simulation show that DAFSA-PTS have the nearest PAPR with conventional PTS, when the number of sub-block is 12, has a differential of 0.4 dB, and the complexity is reduced about 85.35%; when the complexity are same, DAFSA-PTS performs better than PSO-PTS, and the precision increases about 0.2 dB.

Key words: Orthogonal Frequency Division Multiplexing; Peak to Average Power Ratio; Partial Transmit Sequence; Discrete Artificial Fish School Algorithm

1 引言

多载波正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 具有结构简单、频谱利用率高及抗多径干扰能力强等优点, 是实现无线通信系统高速数据传输的核心技术之一, 但高峰均功率比 (Peak-to-average power ratio, PAPR) 一直以来都是 OFDM 系统的重要缺陷^[1].

目前国内外学者为解决此问题做了大量研究, 主要有: (1) 限幅类技术^[2], 对信号进行非线性抑制,

易导致系统误码率性能下降; (2) 编码类技术^[3], 虽不会出现限幅噪声, 但编码复杂、可用码字少, 只适用于子载波数较少的情况; (3) 概率类技术^[4], 利用不同序列进行加权处理, 选择 PAPR 较小的一组进行传输, 不会带来信号失真. 概率类技术中的部分传输序列 (Partial Transmit Sequence, PTS) 方法^[5]将子载波分割为子块, 通过相位因子加权, 降低信号出现峰值的概率, 在降低 PAPR 同时不会破坏子载波间的正交性, 不会产生信号畸变. 为获得最优相位因子序列该方法通常采用穷举搜索, 此方法的计算复

收稿日期: 2013-12-07; 修回日期: 2014-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61271250)

杂度随子块数目的增加呈指数增长. 为解决这一问题, 文献[6-7]提出基于粒子群优化的峰均比抑制 (Particle Swarm Optimization Techniques, PSO) 算法, 可降低计算复杂度, 但粒子群算法易陷入局部最优, 导致无法寻找到最优的相位因子, 从而影响算法的抑制性能.

本文基于组合优化问题的人工鱼群算法^[8], 对 PTS 算法中相位因子寻优过程进行改进, 提出离散鱼群优化 PTS 算法 (DAFSA-PTS). 该算法采用离散鱼群算法寻找最优序列, 在保证计算精度的同时, 有效降低了运算复杂度. 最后通过与 PTS 算法和 PSO-PTS 算法的仿真对比, 验证了 DAFSA-PTS 算法的有效性.

2 离散鱼群优化的 PTS 算法

若 OFDM 信号由同相载波信号叠加而成, 会产生较大的峰均功率 (Peak-to-Average Power, PAP). 我们定义峰均功率比 (PAPR) 为

$$\text{PAPR} = 10 \lg \frac{\max\{|x_n|^2\}}{E\{|x_n|^2\}} \quad (1)$$

式中, $E\{\cdot\}$ 表示数学期望运算. 传统 PTS 中, 将数据符号序列 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]$ 按一定的分割方式分为 V 个互不重叠的子块序列 $\{X_v, v = 1, 2, \dots, V\}$, 使用快速傅里叶逆变换调制多个子载波信号, 则有

$$x = \text{IFFT}\{X\} = \sum_{v=1}^V b_v \text{IFFT}\{X_v\} = \sum_{v=1}^V b_v x_v \quad (2)$$

式中, $\{b_v, v = 1, 2, \dots, V\}$ 是相位因子序列. 通过选择适当的相位因子序列, 使得合并后的时域信号 x 的 PAPR 最小. 因此可以考虑将 PTS 算法求解最小峰均比问题转化为一个非线性约束的最优化问题, 其数学表达式为

$$f(b) = \|x\|_\infty^2 = \left\| \sum_{v=1}^V b_v x_v \right\|_\infty^2 \text{ s. t. } b = \{\pm 1\}^V \quad (3)$$

其中最小的相位因子序列应该满足

$$b = b_1, b_2, \dots, b_v = \underset{\{b_1, b_2, \dots, b_v\}}{\text{argmin}} \left(\max_{1 \leq n \leq N} \left| \sum_{v=1}^V b_v x_v \right|^2 \right) \quad (4)$$

为减小搜索复杂度, 相位因子序列元素通常取自集合 $\{+1, -1\}$.

人工鱼群算法^[9]是一种高效的群智能优化算法, 它从模拟鱼群的日常行为出发, 通过简便有效的

方式来实现鱼群的觅食、聚群、追尾、随机行为, 寻找水域中营养物质最丰富的地方, 从而实现全局寻优. 相比于遗传算法、粒子群算法, 人工鱼群算法具有良好的求取全局极值能力, 并具有对初值选择不敏感、简单、易实现等优点. 因此, 本节基于组合优化问题的人工鱼群算法, 设计新的鱼群移动行为策略, 使 PTS 算法中的相位因子序列能够快速准确的向最优方向收敛, 从而获得更优的 PAPR 抑制性能.

2.1 组合优化问题的人工鱼群算法

组合优化问题是寻找离散事件的最优编排及分组, 组合优化问题的人工鱼群算法基本定义和算法描述如下:

设 D 为变量定义域, 人工鱼个数为 K 条, 第 i 条人工鱼的位置状态向量为 $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}]$, 其中 $x_{iD} (i = 1, \dots, K)$ 为欲寻优的变量; 人工鱼当前所在位置的食物浓度 (目标函数值) 为 $Y = f(X)$; Visual 为人工鱼的感知距离; n 为人工鱼感知范围内伙伴数目; S 为人工鱼移动的步长; δ 为拥挤度因子; T 表示人工鱼在觅食过程中最大的尝试次数.

人工鱼个体之间的距离表示为

$$\text{Distance}(X_i, X_j) = \sum_{i=1}^n \text{sign} |x_{in} - x_{jn}| \quad (5)$$

其中,

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ 1, & x > 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

X 的 Visual - 距离邻域表示为

$$N(X, \text{Visual}) = \{X' | \text{Distance}(X, X') < \text{Visual}, X' \in D\} \quad (6)$$

$X' \in N(X, \text{Visual})$ 称为 X 视野范围内的一个邻居;

人工鱼群 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 中心位置 X_c 表示为

$$X_c(X_1, X_2, \dots, X_N) = \text{Most}(x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^N) \quad (7)$$

式中, Most 表示取其中多数共有或最相近的值.

(1) 觅食行为

人工鱼当前状态为 X_i , 在领域 (即 Visual - 距离) 内随机选择一个状态 X_j , 若 Y_j 优于 Y_i , 则向该方向前进 ($X_{\text{inext}} = X_j$); 反之, 重新选择 X_j , 判断是否满足前进条件; 尝试 T 次若仍不满足, 则执行随机行为.

(2) 聚群行为

人工鱼当前状态为 X_i , 探索邻域内的伙伴数目

n 及中心位置 X_c , 若 Y_c 优于 Y_i 且 $\frac{n}{N} < \delta$, ($0 < \delta < 1$), 表明伙伴中心有较多的食物且不太拥挤, 朝中心位置前进 ($X_{\text{next}} = X_c$); 否则执行觅食行为。

(3) 追尾行为

人工鱼当前状态为 X_i , 探索邻域内的最优状态 X_{max} , 若 Y_{max} 优于 Y_i 且 $\frac{n}{N} < \delta$, ($0 < \delta < 1$), 则向 X_{max} 的位置前进 ($X_{\text{next}} = X_{\text{max}}$); 否则执行觅食行为。

(4) 随机行为

在人工鱼视野范围内随机选择一个位置, 然后向该方向移动。

2.2 离散鱼群优化的 PTS 算法流程

组合优化问题的鱼群算法在初始化人工鱼后, 每条人工鱼随机获得一个位置状态, 鱼的移动实质上是鱼之间位置向量的替换。在执行行为时, 当前寻优的人工鱼搜寻到邻域范围内最优人工鱼的位置, 并以此作为自己下一步的位置状态, 这样就导致人工鱼的寻优过程仅在 K 个人工鱼初始位置向量之间循环, 而没有在整个定义域范围内寻优, 必然会导致寻优结果的不准确。

基于以上问题, 本文提出离散人工鱼群算法, 将人工鱼状态定义为相位因子序列进行分析, 采用式 (7) 中的 $f(b)$ 作为适应度函数, 人工鱼在移动过程中, 寻找当前位置状态 X_i 中前 S 个与寻优结果 X 中不同的元素, 将其更新为 X 中相对应的元素, 以此进行位置状态更新, 这样可以跳出初始的人工鱼位置, 从而做到真正意义上的位置更新, 有效解决了组合优化鱼群算法中位置更新的局限性问题, 使寻优结果更加全面准确。

本文利用提出的离散人工鱼群算法来解决 PTS 算法中相位因子序列的寻优问题, 在给定元素集合 $\{+1, -1\}$ 中搜索出使 OFDM 符号 PAPR 最小的相位因子序列。算法流程如图 1 所示。

(1) 初始化人工鱼参数: 人工鱼群体数 K , 人工鱼的初始位置, 人工鱼的视野 Visual , 人工鱼的步长 S , 最大迭代次数 M , 尝试次数 T , 拥挤度因子 δ ;

(2) 根据式 (4) 计算每条人工鱼的适应度值, 将最优的人工鱼状态记入公告板;

(3) 对每条人工鱼进行评价, 从觅食行为、聚群行为、追尾行为、中选择一种最优行为进行位置更新;

(4) 执行选择行为, 更新人工鱼的位置信息 (即

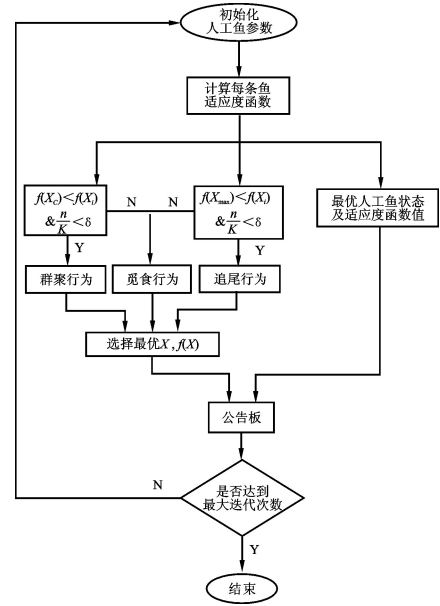


图 1 DAFSA-PTS 算法流程图

相位因子序列分配情况), 根据式 (6) 计算每条人工鱼的适应度值, 更新公告板;

(5) 检验是否满足循环结束的条件, 如果满足, 运算停止; 如果没有, 跳转到 (2) 继续执行。

(6) 算法中止时输出最优相位因子序列, 根据式 (6) 得到具有最小 PAPR 的符号传输。

3 仿真分析

3.1 仿真实例

由于 OFDM 系统 PAPR 是随机的, 因此, 通常用超过某一确定值 PAPR_0 的概率来衡量系统的 PAPR 统计分布特性, 这一概率被称为互补累积分布函数 (Complementary Cumulative Distribution Function, CCDF), 可表示为^[10]

$$\begin{aligned} \text{CCDF}(N, \text{PAPR}_0) &= P\{\text{PAPR} > \text{PAPR}_0\} \\ &= 1 - (1 - e^{-\text{PAPR}_0})^N \end{aligned} \quad (8)$$

式中, N 为 OFDM 系统的子载波数。

为验证本文算法的有效性, 本文采用 MATLAB 软件进行仿真实验, 发送 10^4 个 QPSK 调制的 OFDM 符号, 采用交织分割将符号分为 $V=8$ 个子块, 相位因子序列元素 $b_0 \in \{+1, -1\}$, 子载波数 $N=256$, OFDM 过采样因子 $L=4$ 。DAFSA-PTS 算法参数: 人工鱼个体数 $K=20$, 人工鱼的视野 $\text{Visual}=4$, 人工鱼的步长 $S=1$, 最大迭代次数 $M=3$, 尝试次数 $T=2$, 拥挤度因子 $\delta=0.8$; PSO-PTS 算法参数为: 粒子群数 $P=10$, 学习因子 $c_1=c_2=2$, 惯性权重 $\omega=0.7297$, 最大迭代次数 $T=10$ 。

图 2 对比了 DAFSA-PTS 算法、PSO-PTS 算法以及传统 PTS 算法的 PAPR 性能. 从图中可以看出, 当 $\text{CCDF}(\text{Pr}(\text{PAPR} > \text{PAPR}_0)) = 10^{-3}$ 时, PTS 系列算法远优于原始信号 PAPR_0 值, PSO-PTS 算法与传统 PTS 算法相差约 0.4 dB, 而本文算法与传统 PTS 算法仅相差 0.2 dB, 优于 PSO-PTS 算法.

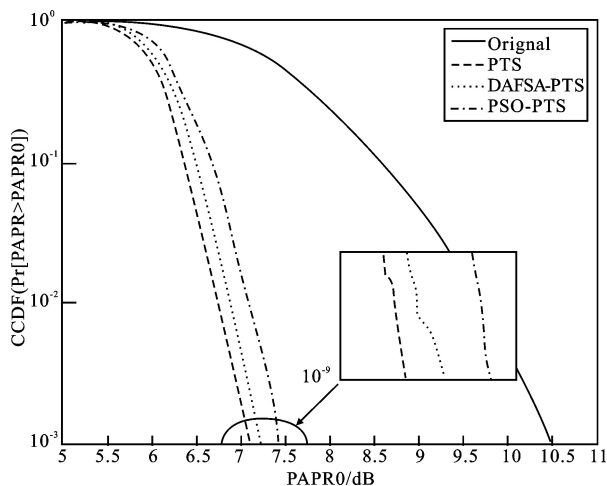


图 2 DAFSA-PTS 算法与几种算法的 PAPR 性能

图 3 对比了该算法在不同人工鱼个数 K 下的 PAPR 性能曲线. 图中可以看出, 随着人工鱼个数 K 的增加, 本文算法的 PAPR 抑制性能越来越好, 其性能的改善幅度越来越小, 当鱼个数增加到一定数目后将不再改善 PAPR 的抑制性能, 反而会增加算法的复杂度, 因此, 人工鱼个数的合理选择, 可以保证在复杂度较低的情况下获取较好的 PAPR.

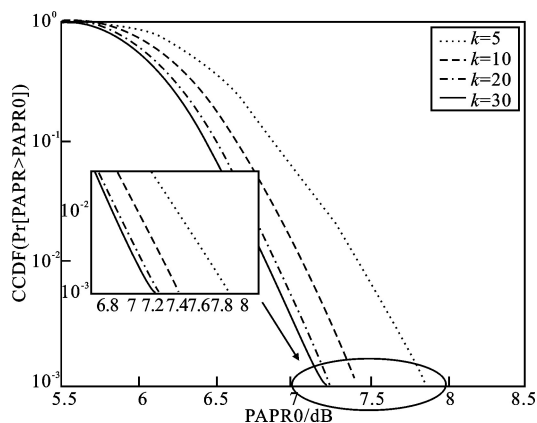


图 3 不同人工鱼数目下 DAFSA-PTS 算法的 PAPR 性能

图 4 展示了原始 OFDM、传统 PTS 与本文算法在不同子块数目下 PAPR 性能的对比. 由图中可以看出, 当子块数目 $V=4$ 时本文算法与传统 PTS 算法具有相同的抑制效果; 当 $V=8$ 时本文算法与传统 PTS 算法的 PAPR 性能仅有 0.1 dB 的损失; 随着子块数目的增加, 当 $V=12$ 时抑制效果有所下

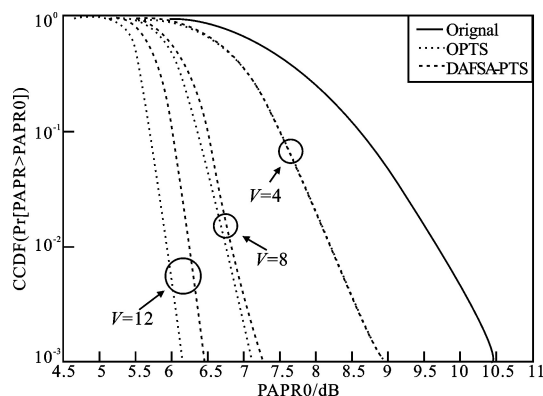


图 4 不同子块数下 DAFSA-PTS 与传统 PTS 的 PAPR 性能降, 对应的 PAPR_0 值相差 0.4 dB, 但本文算法的复杂度仅为传统 PTS 算法的 14.65%, 大幅降低了 PAPR 抑制的复杂度.

3.2 计算复杂度分析

传统 PTS 算法通过穷举方式搜索最优相位因子序列, 因而没有任何性能损失, 复杂度为 W^V , 但随着相位因子以及分组个数的增多, 复杂度将呈指数增长. 文献[6]提出粒子群算法来减少抑制 PAPR 的复杂度, 这种方法的复杂度与 PT 成正比, P 为粒子群数, T 是 PSO-PTS 的最大迭代数. 在 DAFSA-PTS 算法中, 首先产生大小为 K 的随机初始相位因子鱼群, 接着鱼群中的每条鱼按照算法执行各种搜索行为, 将最优搜索结果存放在公告板中, 其中觅食行为内有 T 次尝试迭代, 当整体寻优行为达到最大迭代次数 M 时, 将公告板中具有最小 PAPR 的相位因子作为近似最优解输出, 并输出相应函数值. 这种算法的计算复杂度与 KMT 成正比.

分别计算 PSO-PTS 与 DAFSA-PTS 在子块数目为 8、12 时的复杂度及 PAPR 值列入表 1.

表 1 不同方法的复杂度与 PAPR

方法	V=8		V=12	
	复杂度	PAPR/dB	复杂度	PAPR/dB
传统 PTS	256	7.1	4 096	6.1
PSO-PTS	100	7.5	500	6.9
DAFSA-PTS	120	7.3	600	6.5

从表 1 中可以看出当子块数 $V=8$ 时, DAFSA-PTS 的复杂度略高于 PSO-PTS, 但其对应的 PAPR_0 值与传统 PTS 仅相差 0.2 dB, 精度提高 0.2 dB. 随着子块数目的增加, 可以明显看出, 当 $V=12$ 时, 虽然 DAFSA-PTS 的复杂度略高于 PSO-PTS, 但其 PAPR 性能更逼近于传统 PTS 的 PAPR 值, 证明其有效性.

4 结束语

本文基于组合优化问题的鱼群算法,提出一种离散鱼群算法,并将所提算法与 PTS 算法相结合,使相位因子序列能够快速准确的搜索到最优序列方向,从而有效抑制了 PAPR 的范围,实现低复杂度下的性能优化.仿真结果表明,该算法在相近复杂度下能获得优于 PSO-PTS 的 PAPR 抑制性能,逼近于传统 PTS 算法.

参考文献:

- [1] Han S H, Lee J H. An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission [J]. IEEE Wireless Communication, 2005, 12 (2): 56-65.
- [2] 朱晓东,朱光喜,林沛. 一种降低 OFDM 系统峰均功率比的压扩变换方法[J]. 微电子学与计算机,2009, 26(4):70-72.
- [3] Verma S, Sharma P, Garg N, et al. Convolutional coded selected mapping technique for reducing the PAPR of OFDM signal [J]. Communications in Computer and Information Science, 2011, 172(2):307-313.
- [4] Bauml R W, Fischer R F H, Huber J B. Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selected mapping [J]. Electronics Letters (S0013-5194), 1996, 32(22): 2056-2057.
- [5] Seung H H, Jae H Lee. PAPR reduction of OFDM signals using a reduced complexity PTS technique [J].

IEEE Signal Processing Letters (S1070-9908), 2004, 11(11):887-900.

- [6] Hung Hong, Huang Yung fa, Yeh Chengming, et al. Performance of particle swarm optimization techniques on PAPR reduction for OFDM systems [J]. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2008(11):2390-2395.
- [7] 张帅,杨霖,李少谦. PSO 与相位因子优选对结合降低 OFDM 峰均比的算法[J]. 系统工程与电子技术,2012, 34(7):1479-1483.
- [8] 李晓磊,路飞,田国会,等. 组合优化问题的人工鱼群算法应用[J]. 山东大学学报:工学版,2004, 34(5): 64-67.
- [9] 李晓磊. 一种新型的智能优化方法—人工鱼群算法 [M]. 杭州:浙江大学,2003: 16-33.
- [10] Ochiai H, Imai H. On the distribution of the peak-to-average power ratio in OFDM signals [J]. IEEE Communications Letters, 2001,49(2):185-187.

作者简介:

祝杨坤 男,(1990-),硕士研究生.研究方向为无线通信技术.

达新宇 男,(1961-),博士,教授,博士生导师.研究方向为现代通信系统与电路技术.

张亚普 男,(1985-),博士研究生.研究方向为电磁防护.

王舒 女,(1987-),硕士研究生.研究方向为无线通信技术.

(上接第 70 页)

- [8] Hong L, He W, Zhu H, et al. A full-pipelined 2-D IDCT/IDST VLSI architecture with adaptive block-size for HEVC standard[J]. IEICE Electronics Express, 2013,10(9):210-211.

作者简介:

姚子游 男,(1989-),硕士研究生.研究方向为大规模集成

电路设计.

何卫锋 男,(1976-),博士,副教授.研究方向为视频信号处理的 VLSI 结构. MPEG-4/H. 264/JVT/AVC 视频编解码系统、低功耗可重构多核处理器、计算机系统结构与体系结构、IP 复用设计、IP 质量度量与评测、SOC 设计与系统集成.