

面向柔性作业车间调度的变邻域搜索候鸟优化算法

朱颢东^{1,2}, 何保锋¹

(1 郑州大学 西亚斯国际学院 计算机科学系, 河南 新郑 451150;

2 郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 分析柔性作业车间的生产特点, 结合候鸟优化算法和变邻域搜索算法, 提出了一种变邻域搜索候鸟优化算法(Migrating Birds Optimization Algorithm Used Variable Neighborhood Search, VNS_MBOA)求解该车间内的生产调度问题, 该算法采用分段式编码方式, 并分两阶段对算法种群进行初始化, 以提高初始解的质量. 根据问题的特性, 设计了两种邻域结构, 并引入一种变邻域搜索算法有效加强了 VNS_MBOA 的搜索能力. 使用基准算例对本文算法进行测试, 并将计算结果与其他文献中算法结果进行比较. 仿真数据表明本文所提出的算法在解决柔性作业车间调度方面具有一定的有效性.

关键词: 柔性作业车间; 生产调度; 候鸟优化算法; 变邻域搜索

中图分类号: TH165

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)04-0028-05

Migrating Birds Optimization Algorithm Used Variable Neighborhood Search for Flexible Job Shop Scheduling

ZHU Hao-Dong^{1,2}, HE Bao-Feng¹

(1 Department of Computer Science, Sias International University, Xinzheng 451150, China;

2 School of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University
of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: By analyzing the production features of the flexible job shop, a migrating birds optimization algorithm used variable neighborhood search(VNS_MBOA) was proposed by combining the migrating birds optimization and the variable neighborhood search algorithm to solve the production scheduling problem. A segment-based encoding approach is adopted, and a two-phase initialization of the population in the algorithm is performed to improve the quality of the initial solution. On the basis of the characteristics of the problem, two neighborhood structures are designed, based on which a variable neighborhood search algorithm is introduced to enhance the searching capability of VNS_MBOA effectively. Benchmark instances are adopted to test the proposed algorithm, and the simulation results are compared with other algorithms in literature. The computational data demonstrate that the proposed algorithm has certain degree effect for solving the flexible job shop scheduling problem.

Key words: flexible job shop; production scheduling; migrating birds optimization algorithm; variable neighborhood search

1 引言

柔性作业车间调度问题(Flexible job shop scheduling, FJSP)是传统作业车间调度问题的拓展形式, 它更贴近于实际的生产状况, 考虑了实际生产

环境中并行机和多功能机的存在, 扩大了可行解的搜索范围, 是更为复杂的 NP-hard 问题. FJSP 问题中需要解决两个子问题: 机器分配问题, 即为工序选择合适的机器; 工序排序问题, 即排列机器上工序的加工顺序, 确定各工件开始和完成时间.

随着计算机技术的飞速发展,国内外很多学者利用智能算法对 FJSP 问题进行探索和研究^[1-2]. 但目前并没有一种算法能够获得所有调度问题的最优解. 因此,随着对自然界的认识,学者们仍在不断地拓展思路,以探寻更新更有效的方法求解 FJSP 问题.

候鸟优化算法(Migrating birds optimization algorithm, MBOA)是基于自然界鸟类的迁徙行为而提出的一种新兴的智能优化算法. 该算法首次被用于二次分配问题,其有效性得到了验证^[3]. 目前有关候鸟优化算法在车间调度方面的文献还很少,并且这些文献的研究重点大都集中于流水车间^[4]. 因此,本文融合候鸟优化算法良好的全局搜索能力和变邻域搜索算法的局部搜索能力,提出一种变邻域搜索候鸟优化算法(Migrating Birds Optimization Algorithm Used Variable Neighborhood Search, VNS_MBOA),以获得更好的调度性能.

2 柔性作业车间调度问题

2.1 问题描述

假设某车间内有 m 台机器加工 n 个工件. 每个工件需要若干道工序,且工序间保持特定的加工先后顺序. 工序能在多台机器上进行加工,且其加工时间取决于所在的机器. FJSP 问题的目标是为工序分配机器,并排列机器上工序加工的顺序,以实现系统性能指标最优. 对于这样一个系统,其一般假设条件为:零时刻工件和机器都处于可用状态;同一时刻一台机器只允许处理一个工件;工序加工一旦启动不能被中断;不同工件工序间相互独立,而同工件工序间必须符合加工先后关系;各工件的加工优先级相同;各工序加工前机器所需的调整时间忽略不计.

2.2 数学模型建立

本文以车间内工件最大完工时间 $C_{\max}$ 作为优化目标所建立的数学模型如下:

$$\min C_{\max} = \max(C_{ij}) \quad (1)$$

s. t.

$$C_{ij} = S_{ij} + \sum_{k=1}^m x_{ijk} t_{ijk}, \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, J_i$$

$$S_{i(j+1)} - C_{ij} \geq 0, \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, J_i - 1$$

$$S'_{ij'} + \alpha(1 - y_{ji'j'k}) \geq C_{ij}, \quad (4)$$

$$i, i' = 1, 2, \dots, n; j, j' = 1, 2, \dots, J_i;$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

$$S_{ij} + \alpha y_{ji'j'k} \geq C'_{i'j'}, \quad (5)$$

$$i, i' = 1, 2, \dots, n; j, j' = 1, 2, \dots, J_i;$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, J_i$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\},$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, J_i; \quad (7)$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

$$y_{ji'j'k} \in \{0, 1\},$$

$$i, i' = 1, 2, \dots, n; j, j' = 1, 2, \dots, J_i; \quad (8)$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

式中,各符号具体含义为: n 为工件数; m 为机器数; J_i 为工件 i 的工序数; O_{ij} 为工件 i 的第 j 道工序; t_{ijk} 为机器 k 上工序 O_{ij} 的加工时间; S_{ij} 为工序 O_{ij} 的开始时间; C_{ij} 为工序 O_{ij} 的完工时间; $C_{\max}$ 为最大完工时间; α 为一个很大的正数; x_{ijk} 为 0—1 变量,若工序 O_{ij} 在机器 k 上加工则 $x_{ijk} = 1$, 否则 $x_{ijk} = 0$; $y_{ji'j'k}$ 为 0—1 变量,若机器 k 上工序 O_{ij} 先于工序 $O_{i'j'}$ 加工则 $y_{ji'j'k} = 1$, 否则 $y_{ji'j'k} = 0$.

此外,式(1)表示优化目标为最小化车间内所有工件的最大完工时间;式(2)表示工序的加工过程不允许被中断;式(3)表示相同工件工序间的先后加工约束;式(4)和式(5)表示在同一时刻一台机器只能加工一个工件;式(6)表示工序的机器选定后,一直保持到该工序完工;式(7)和式(8)表示 0—1 变量.

3 VNS_MBOA 求解 FJSP 问题

3.1 编码方案

编码是候鸟优化算法处理复杂问题的首要和关键. 由于 FJSP 问题中不仅要解决机器分配问题,还要对工序进行排序. 因此,本文设计一种分段式编码方案,即算法种群中每个解被分为两段,每段长度都等于车间内待优化工序的总数. 前半段编码表示机器分配,为工序确定加工的机器;后半段编码表示工序排序,确定工序的加工先后关系. 前半段编码各元素为工序所分配的机器的编号,依次对应于每道工序;后半段中相同数值表示同工件不同工序,元素间的先后顺序即为工序的加工先后顺序.

3.2 种群初始化方案

智能优化算法中初始解的设计对算法的收敛性

能和最终结果起到很大的作用. 与其他算法相同, 候鸟优化算法中如何设计有效的种群初始化方案也是一个亟需解决的问题. 基于上节中算法个体的编码方式, VNS_MBOA 中种群初始化操作同样分为两个阶段执行.

3.2.1 机器分配

随机生成规则是一个比较通用的方法, 但是通常情况下采用完全随机的方式可能会使初始解的质量偏低, 从而影响最终的优化效果. 对此, 文献[5]针对给出了两种新的机器分配方案的初始化方法: 全局搜索法和局部搜索法. 为了保持种群的多样性, 结合随机规则并按照一定的比例对算法种群进行初始化, 例如, 本文中种群的 60% 采用全局搜索法, 20% 采用局部搜索法, 20% 采用随机生成规则.

3.2.2 工序排序

基于已生成的机器分配方案, 采用文献[6]中提出的基于搜索方法获得初始工序排序方案, 即根据每一个已经生成的初始解前半段中的机器分配方案, 任意生成 $p(p > 0)$ 个工序排序方案, 并评估其各自对应的目标值. 选择其中最优的一个作为初始排序方案, 然后结合前后两部分方案得到一个初始解.

3.3 邻域结构

MBOA 个体通过搜索其自身及紧前个体的邻域解对优化目标进行求解, 因此邻域解构造对算法的性能至关重要. 本文设计以下两种邻域结构 N_1 和 N_2 :

(1) N_1 : 任择两道不同工件的工序, 互换两工序所在的位置, 重复多次改变工序排序方案. 其过程为, 设定 $l \leftarrow 1$, 然后在当前解工序排序编码段中随机选择两个属于不同工件的工序, 交换这两个工序的位置, 令 $l \leftarrow l + 1$, 重复此交换操作, 直至 $l > l_{\max}$.

(2) N_2 : 任择一道工序, 更新其当前分配的机器编号, 重复多次改变机器分配方案. 其过程为, 设定 $\rho \leftarrow 1$, 然后随机选择一道工序, 将其分配至可选择机器集(不包括当前机器)中加工时间最短的机器上, 设置 $\rho \leftarrow \rho + 1$, 重复该过程, 直到 $\rho > \rho_{\max}$.

3.4 变邻域搜索

变邻域搜索算法采用某种机制能够不断地改变算法的邻域结构, 从而改变搜索范围来寻找最优解. 因此, 基于上述两种邻域结构设计一种变邻域搜索算法嵌入到候鸟优化算法中, 对当前最优个体执行

搜索操作, 以加强算法的局部搜索能力. 基本变邻域搜索算法的具体步骤如下:

步骤 1 算法初始化. 给定一个初始解 π , 选择用于振动环节的邻域结构 $N_q, q = 1, 2, \dots, q_{\max}$.

步骤 2 执行以下步骤, 直到满足终止条件.

步骤 2.1 设置 $q \leftarrow 1$.

步骤 2.2 执行以下的步骤直到 $q = q_{\max}$.

(1) 振动环节. 从 π 的第 q 个邻域产生一个新解.

(2) 局部搜索. 以振动得到的新解为初始解, 执行局部搜索操作, 找到局部最优解 π' .

(3) 判断是否移动. 如果 π' 优于 $\pi, \pi \leftarrow \pi'$, 并继续在第 q 个邻域内搜索; 否则, 设置 $q \leftarrow q + 1$.

变邻域搜索算法中局部搜索操作的具体步骤如下:

步骤 1 初始化. 获取初始解, 并设置 $ct \leftarrow 1$ 和终止条件 $ct_{\max}$.

步骤 2 对当前解同时执行 N_1 和 N_2 得到一个 π'' . 若 $C_{\max}(\pi'') < C_{\max}(\pi')$, 则 $\pi' \leftarrow \pi''$.

步骤 3 设置 $ct \leftarrow ct + 1$. 若 $ct > ct_{\max}$, 执行步骤 4; 否则转到步骤 2.

步骤 4 局部搜索结束.

3.5 VNS_MBOA 步骤

本文提出的 VNS_MBOA 的步骤如下:

步骤 1 初始化. 设置各参数及算法终止条件 $it_{\max}$, 并令标记变量 $flag = 1$, 迭代次数 $it = 1$, 采用 3.2 节的方法对种群进行初始化并形成 V 字形编队.

步骤 2 领飞鸟进化. 根据邻域结构 N_1 和 N_2 生成领飞鸟 k' 个邻域解, 若其中最优解优于当前领飞鸟, 则用其替换领飞鸟, 并将未使用的 x 个最好的邻域解加入共享集 P_L 和 P_R 中.

步骤 3 跟飞鸟进化. 对于左队列 L_1 中的个体 π , 根据邻域结构 N_1 和 N_2 产生 π 的 $k' - x$ 个邻域解, 其集合表示为 N . 若 $N \cup P_L$ 中的最优解优于当前解 π , 则用其替换 π . 清空 P_L , 将 $N \cup P_L$ 中未使用的 x 个最好解加入 P_L . 对于右队列 L_2 中个体 π , 采用与左队列个体类似的操作.

步骤 4 判断是否到达最大巡回次数 G . 若未到达, 则转到步骤 2, 否则转到步骤 5.

步骤 5 更新当前最优解, 并对其进行变邻域搜索, 用新解替换当前种群中最差解.

步骤 6 领飞鸟替换. 若 $flag = 1, L_1$ 中首个个体作为新领飞鸟, 将领飞鸟移至 L_1 队尾, 并设置 $flag$

$= 0$; 否则, L_2 中首个个体作为新领飞鸟, 将领飞鸟移至 L_2 队尾, 并设置 $\text{flag} = 1$.

步骤 7 令 $it \leftarrow it + 1$, 判断是否满足 $it > it_{\max}$. 若是, 则转到步骤 8; 否则, 执行步骤 2.

步骤 8 算法终止并输出结果, 如图 1 所示.

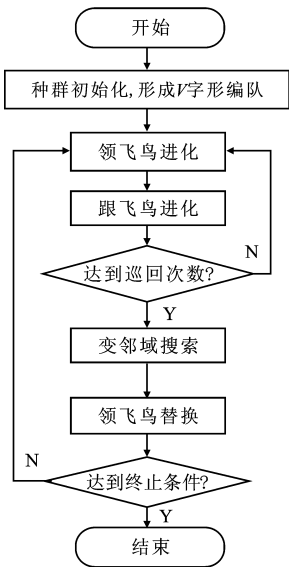


图 1 算法流程图

4 实验仿真

本节通过 FJSP 仿真算例对 VNS_MBOA 的性能进行分析. 采用 Fortran 和 Matlab 语言混合编程, 程序在 WinXP 系统下内存 2 GB 的 Intel Pentium CPU 3.00 GHz 的双核计算机上运行. 算法前四个参数根据文献[4] 推荐值设置为种群规模 $p_{size} = 51$ 、个体每次进化搜索邻域解的个数 $k' = 3$ 、与后一个个体共享邻域解的个数 $x = 1$ 和巡回次数 $G = 10$, 其他参数根据实验设置为 $l_{\max} = \rho_{\max} = 5$, $q_{\max} = ct_{\max} = 20$, $it_{\max} = 500$.

首先对变邻域搜索机制的有效性进行验证, 将不含变邻域搜索机制的 MBOA 与本文 VNS_MBOA 进行比较, 实验对比结果如表 1 所示. 其中 $n \times m$ 表示算例问题的规模, 两种算法分别针对文献[7-9]中给出的 15 个基准算例独立运行 10 次并取平均值. 由表 1 可以看出, VNS_MBOA 明显优于 MBOA.

分别针对算例 Kacem^[7-8] 和算例 Brandimarte^[9], 将本文算法与其他文献中算法的最优值进行对比, 如表 2 和表 3 所示. ‘—’表示该文献中未列对应数值, 粗体字表示几种算法结果的最佳值. 由表 2 看出, 本文算法均能获得最佳结果.

表 1 两种算法对比结果

算例	$n \times m$	MBOA	VNS_MBOA
Kacem01	4×5	11.0	11.0
Kacem02	8×8	14.0	14.0
Kacem03	10×7	11.0	11.0
Kacem04	10×10	7.2	7.0
Kacem05	15×10	13.1	12.6
MK01	10×6	42.0	41.8
MK02	10×6	29.4	29.1
MK03	15×8	204.0	204.0
MK04	15×8	68.8	67.5
MK05	15×4	179.5	178.4
MK06	10×15	76.3	75.8
MK07	20×5	149.0	147.5
MK08	20×10	523.0	523.0
MK09	20×10	328.5	325.3
MK10	20×15	264.2	261.2

表 2 Kacem 算例对比结果

算例	AL+CGA ^[8]	IWODMP ^[1]	Heuristic ^[2]	VNS_MBOA
Kacem01	—	—	11	11
Kacem02	15	14	15	14
Kacem03	—	—	13	11
Kacem04	7	7	7	7
Kacem05	23	—	12	12

表 3 中给出各算法对应的最佳值和相对百分比偏差(Relative percent deviation, RPD), RPD 的计算公式为 $RPD = 100 \times (C_{\max} - C_{\max}^*) / C_{\max}^*$, 其中 $C_{\max}$ 为算法结果, $C_{\max}^*$ 为最佳结果.

表 3 Brandimarte 算例对比结果

算例	TS ^[9]		IGA ^[10]		MATSLO		Heuristic ^[6]		VNS_MBOA	
	$C_{\max}$	RPD	$C_{\max}$	RPD	$C_{\max}$	RPD	$C_{\max}$	RPD	$C_{\max}$	RPD
MK01	42	5.0	41	2.5	40	0	42	5.0	40	0
MK02	32	18.5	28	3.7	32	18.5	28	3.7	27	0
MK03	211	3.4	204	0	207	1.5	204	0	204	0
MK04	81	22.7	66	0	67	1.5	75	13.6	66	0
MK05	186	5.1	178	0.6	188	6.2	179	1.1	177	0
MK06	86	24.6	73	5.8	85	23.2	69	0	72	4.3
MK07	157	9.0	150	4.2	154	6.9	149	3.5	144	0
MK08	523	0	523	0	523	0	555	6.1	523	0
MK09	369	15.7	327	2.5	437	37.0	342	7.2	319	0
MK10	296	22.3	257	6.2	380	57.0	242	0	253	4.5
平均值		12.6		2.6		15.2		4.0		0.9

由表 3 看出, 本文算法能获得 8 个算例的最佳结果, 且 RPD 平均值也是最小.

图 2 和图 3 分别对应两个不同算例(Kacem05

和 MK10)的甘特图。

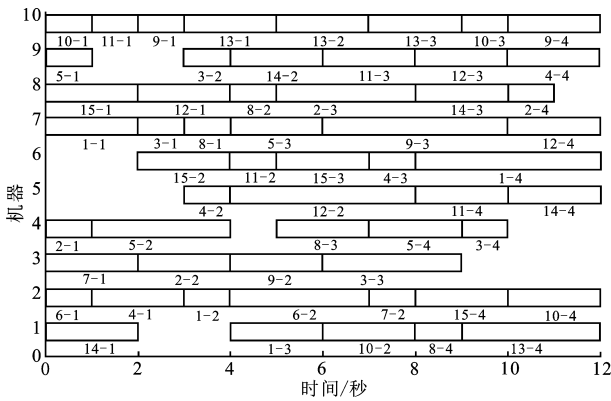


图 2 算例 Kacem05 的甘特图

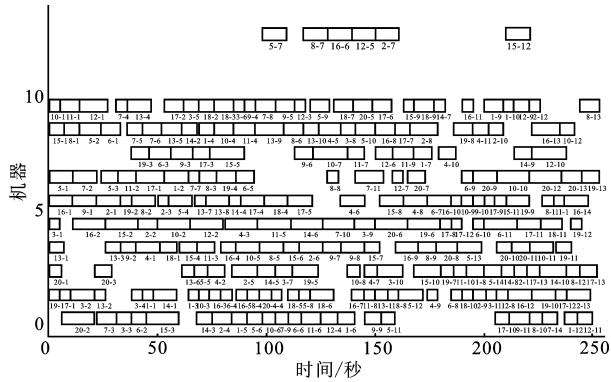


图 3 算例 MK10 的甘特图

文献[1]分别针对三种不同性能指标(即最大完工时间 C_{max} 、机床最大负荷 W_{max} 和总机床负荷 W_T)测试了算法的性能。为了进一步体现本文算法的优势,采用与文献[1]相同的算例,并将本文算法与文献[1]中算法进行比较,其结果如表 4 所示。

表 4 三种性能对比结果

算例	性能	Bilevel GA ^[11]		IWODMP ^[1]		VNS_MBOA	
		最优值	平均值	最优值	平均值	最优值	平均值
Kacem02	C_{max}	14	16.2	14	14.6	14	14.0
	W_{max}	11	12.6	11	12.1	11	11.6
	W_T	—	—	73	74.2	73	73.0
Kacem04	C_{max}	7	7.8	7	7.2	7	7.0
	W_{max}	5	6.7	6	6.6	5	5.1
	W_T	—	—	42	43.0	41	41.0

对比结果可以看出,本文算法明显优于其他两种算法。

综上所述,VNS_MBOA 在求解柔性作业车间调度问题方面具有一定的有效性。

5 结束语

本文针对柔性作业车间特点,结合基本候鸟优化算法和变邻域搜索算法,提出了适合求解 FJSP 问题的混合型候鸟优化算法:

- (1)采用分段式种群初始化方案,以保证初始种群质量和多样性。
- (2)设计两种邻域结构构造个体邻域解,并将变邻域搜索算法嵌入到候鸟优化算法中,提高了算法的性能。
- (3)针对基准算例进行仿真,验证了算法解决柔性作业车间调度问题的有效性。
- (4)下一步将把算法扩展至其他更复杂的车间调度问题中,并结合生产的特点,设计出更加高效可行的算法。

参考文献:

[1] 石小秋, 石宇强, 袁雪娇. 离散多种群入侵杂草优化算法求解柔性作业车间调度问题[J]. 信息与控制, 2015, 44(2): 238-243.

[2] Ziaee M. A heuristic algorithm for solving flexible job shop scheduling problem[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 71(4): 519-528.

[3] Duman E, Uysal M, Alkaya A F. Migrating birds optimization; a new metaheuristic approach and its performance on quadratic assignment problem[J]. Information Sciences, 2012, 217(24): 65-77.

[4] Tongur V, Ülker E. Migrating birds optimization for flow shop sequencing problem[J]. Journal of Computer and Communications, 2014, 2(4): 142-147.

[5] 张国辉, 高亮, 李培根, 等. 改进遗传算法求解柔性作业车间调度问题[J]. 机械工程学报, 2009, 45(7): 145-151.

[6] Demir Y, İşleyen S K. An effective genetic algorithm for flexible job-shop scheduling with overlapping in operations[J]. International Journal of Production Research, 2014, 52(13): 3905-3921.

[7] Kacem I, Hammadi S, Borne P. Pareto-optimality approach for flexible job-shop scheduling problems: hybridization of evolutionary algorithms and fuzzy logic [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2002, 60(3): 245-276.

[8] Kacem I, Hammadi S, Borne P. Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems[J]. IEEE

5 结束语

本文设计了一款容量为 512 bit 适应于动态电压频率调整的抗辐照 SRAM,采用 DICE 结构的存储单元和抗 SEU 的 D 触发器以及在电路关键节点处加入保护门电路等措施消除了辐射粒子带来的“软错误”影响. 新型 DICE 单元在 0.3 V 电压下的读静态噪声容限相比普通 DICE 单元大幅提升. 另外,针对现有复制列电路的不足,提出改进型复制列电路,使 SRAM 能够在各种 PVT 环境下正常工作.

参考文献:

[1] Amusan O A, Massengill L W, Bhuva B L, et al. Design techniques to reduce SET pulse widths in deep-submicron combinational logic[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2007, 54(6):2060-2064.

[2] Calin T, Nicolaidis M, Velazco R. Upset hardened memory design for submicron CMOS technology[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1997, 43(6): 2874-2878.

[3] Sinangil M E, Verma N, Chandrakasan A P. A reconfigurable 8T ultra-dynamic voltage scalable (U-DVS) SRAM in 65 nm CMOS[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2009, 44(11):3163-3173.

[4] Amrutur B S, Horowitz M A. A replica technique for wordline and sense control in low-power SRAM's[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1998, 33(8): 1208-1219.

[5] Chang M F, Yang S M, Chen K T, et al. Improving

the speed and power of compilable SRAM using dual-mode self-timed technique[C] // IEEE International Workshop on Memory Technology, Design and Testing. Taipei, China: IEEE Computer Society, 2007: 57-60.

[6] Balasubramanian A, Bhuva B L, Black J D, et al. RHBD techniques for mitigating effects of single-event hits using guard-gates[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2006, 52(6):2531-2535.

[7] Karandikar A, Parhi K K. Low power SRAM design using hierarchical divided bit-line approach[C]// International Conference on Computer Design: VLSI in Computers & Processors. Austin, Texas, USA: IEEE, 1998:82-88.

[8] Chang M F, Yang S M, Chen K T, et al. Wide-VDD embedded asynchronous SRAM with dual-mode self-timed technique for dynamic voltage systems[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems-I, 2009, 56(8): 657-667.

作者简介:

李广林 男,(1990-),硕士研究生. 研究方向为抗辐照 SRAM 电路设计.

张 杰 男,(1990-),硕士. 研究方向为低功耗 SRAM 设计.

商中夏 男,(1991-),硕士. 研究方向为超低电源电压 DC-DC 设计.

耿 莉(通讯作者) 女,(1969-),教授. 研究方向为模拟集成电路设计. E-mail:gengli@mail. xjtu. edu. cn.

(上接第 32 页)

Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2002, 32(1): 1-13.

[9] Brandimarte P. Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu search[J]. Annals of Operations Research, 1993, 41(3): 157-183.

[10] 张超勇,饶运清,李培根,等. 柔性作业车间调度问题的两级遗传算法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(4): 119-123.

[11] Chang H C, Tsai H T, Liu T K. Application of genetic algorithm to optimize unrelated parallel machines

of flexible job-shop scheduling problem[C] // Proc of 11th IEEE International Conference on Control & Automation. USA:IEEE,2014:596-599.

作者简介:

朱颢东 男,(1980-),博士,副教授. 研究方向为智能信息处理、智能计算. E-mail:zhdjsj016@163. com.

何保锋 男,(1974-),硕士,副教授. 研究方向为智能信息处理、计算机网络.