

Busca Local Iterada Aplicada ao Sequenciamento de Tarefas em Máquinas Flexíveis Paralelas Não Idênticas

Pedro Lucas Damasceno

Departamento de Computação
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
Universidade Federal de Ouro Preto

22 de agosto de 2024



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Job sequencing and tool switching problem (SSP)
- 3 Máquinas flexíveis paralelas não idênticas (SSP-NPM)
- 4 Contribuições
- 5 Experimentos computacionais
- 6 Resultados
- 7 Plano de atividades futuras

Panfilova; Okrepilov; Kuzmina, 2018

A globalização intensificou a volatilidade do mercado consumidor, redefinindo os padrões de consumo de maneira dinâmica e imprevisível.

Dessault Systèmes & CITE Research, 2020

83% dos consumidores esperam que os produtos ou serviços se adaptem às suas necessidades em questão de momentos ou horas e estão dispostos a pagar em média até 25,3% a mais pela customização.

Manufatura Flexível

Características

Nesse contexto, sistemas de manufatura flexível surgiram para atender as necessidades do mercado de forma ágil ao proverem:

- ▶ Tecnologia Integrada;
- ▶ Personalização e Customização;
- ▶ Adaptação Rápida;
- ▶ Resposta a Tendências.

Aplicações

- ▶ Produção de placas de circuito impresso (*printed circuit board* PCB) (WU et al., 2022);
- ▶ Indústria de empacotamento (BURGER et al., 2015);
- ▶ Entre várias outras.

Manufatura Flexível



Figura: Sistema de manufatura flexível caracterizado pelo sequenciamento de máquinas flexíveis.

Minimização de trocas de ferramentas

Trocas de ferramentas

Na maioria dos sistemas reais de manufatura, a troca de ferramentas e/ou componentes é o processo que consome mais tempo (HOP, 2005).

Subproblemas

- 1 Determinação do plano de trocas: KTNS (Tang; Denardo, 1988), GPCA (Cherniavskii; Goldengorin, 2022).
- 2 Sequenciamento de tarefas: \mathcal{NP} -Difícil (Crama et al., 1994).

Minimização de trocas de ferramentas

Características

- ▶ O conjunto de tarefas e as necessidades de ferramentas de cada uma é conhecido *a priori*;
- ▶ Não há ordem de precedência entre a execução das tarefas;
- ▶ O *magazine* da máquina possui capacidade limitada;
- ▶ As trocas de ferramentas são realizadas sequencialmente e o tempo gasto pela troca é uniforme para todas as ferramentas;
- ▶ Não é considerado desgaste ou quebra de ferramentas.

Minimização de trocas de ferramentas

Tabela: Exemplo de instância do problema, com $c = 5$.

Ferramentas	Tarefas				
	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	1
2	1	1	0	0	1
3	0	0	1	1	0
4	1	0	0	1	0
5	0	1	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	0
9	0	0	1	1	0
10	0	1	0	0	0

Tarefas	Magazine
1	{2, 4, 5, 7, 8}

Minimização de trocas de ferramentas

Tabela: Exemplo de instância do problema, com $c = 5$.

Ferramentas	Tarefas				
	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	1
2	1	1	0	0	1
3	0	0	1	1	0
4	1	0	0	1	0
5	0	1	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	0
9	0	0	1	1	0
10	0	1	0	0	0

Tarefas	<i>Magazine</i>
1	{2, 4, 8, 5, 7}
2	{2, 4, 5, 7, 10 }

Minimização de trocas de ferramentas

Tabela: Exemplo de instância do problema, com $c = 5$.

Ferramentas	Tarefas				
	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	1
2	1	1	0	0	1
3	0	0	1	1	0
4	1	0	0	1	0
5	0	1	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	0
9	0	0	1	1	0
10	0	1	0	0	0

Tarefas	Magazine
1	{2, 4, 8, 5, 7}
2	{2, 4, 5, 7, 10 }
3	{ 1 , 3 , 5, 7, 9 }

Minimização de trocas de ferramentas

Tabela: Exemplo de instância do problema, com $c = 5$.

Ferramentas	Tarefas				
	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	1
2	1	1	0	0	1
3	0	0	1	1	0
4	1	0	0	1	0
5	0	1	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	0
9	0	0	1	1	0
10	0	1	0	0	0

Tarefas	Magazine
1	{2, 4, 8, 5, 7}
2	{2, 4, 5, 7, 10 }
3	{ 1 , 3 , 5, 7, 9 }
4	{1, 3, 4 , 7, 9}

Minimização de trocas de ferramentas

Tabela: Exemplo de instância do problema, com $c = 5$.

Ferramentas	Tarefas				
	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	1
2	1	1	0	0	1
3	0	0	1	1	0
4	1	0	0	1	0
5	0	1	1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	0
9	0	0	1	1	0
10	0	1	0	0	0

Tarefas	Magazine
1	{2, 4, 8, 5, 7}
2	{2, 4, 5, 7, 10 }
3	{ 1 , 3 , 5, 7, 9 }
4	{1, 3, 4 , 7, 9}
5	{1, 2 , 4, 7, 9}

Definição do SSP-NPM

Definição

An iterated local search procedure for the job sequencing and tool switching problem with non-identical parallel machines (Calmels, 2022).

Estado da arte

Biased random-key genetic algorithm for the job sequencing and tool switching problem with non-identical parallel machines (Soares, Carvalho, 2024).

Características adicionais

- ▶ Várias máquinas paralelas no sistema;
- ▶ Diferentes capacidades de *magazine*, tempo de processamento das tarefas e custo de troca de ferramentas.

Objetivos considerados

- ▶ Minimização do *makespan* (FMAX);
- ▶ Minimização do *flowtime* (TFT).

Definição do SSP-NPM

<https://www.overleaf.com/project/64d7bebae3045c44179fa502>

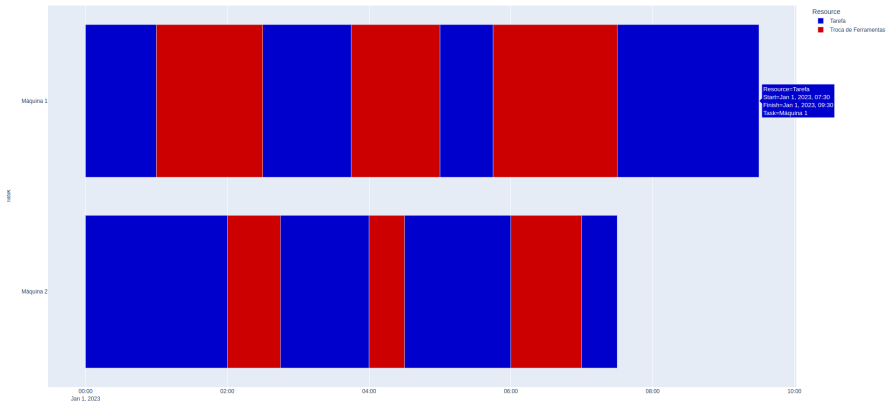


Figura: Gráfico de Gantt para exemplificação do *makespan* e *flowtime*.

1ª versão

- ▶ Nova definição da metaheurística ILS;
- ▶ Heurística construtiva baseada na similaridade de ferramentas por tarefa;
- ▶ Buscas locais completas no formato de VND;
- ▶ Perturbação baseada na realocação de tarefas aleatoriamente.

2ª versão

- ▶ Busca local *job insertion*;
- ▶ Adaptação do *1-block grouping* para mover blocos, e não colunas;
- ▶ Critério de similaridade de tarefas aplicado às buscas locais;
- ▶ Perturbação enviesada por tarefa e máquina.

Buscas locais

- ▶ *job insertion*;
- ▶ *Job exchange*;
- ▶ *swap*;
- ▶ *2-opt*;
- ▶ *1-block grouping* (Paiva e Carvalho, 2017).

Instâncias propostas por Calmels, 2022

SSP-NPM-I

160 instâncias com até 3 máquinas, 20 tarefas e 20 ferramentas no sistema.

SSP-NPM-II

480 instâncias com até 6 máquinas, 120 tarefas e 120 ferramentas.

- ▶ Subdivididas em esparsas e densas;
- ▶ Subdivididas em alto e baixo custo de trocas de ferramentas.

Elegibilidade

Algumas instâncias possuem restrições de elegibilidade e esse critério foi considerado no desenvolvimento do trabalho.

Ambiente computacional

- ▶ Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU @ 2.90GHz;
- ▶ 16GB RAM DDR4 3200MHz;
- ▶ Ubuntu 22.04.1 LTS;
- ▶ Linguagem C++, GCC versão 11.3.0;
- ▶ Flags de otimização -O3 e -march=native.

Tempo e componentes de aleatoriedade

- ▶ Limite de tempo para execução de 3.600 segundos;
- ▶ 10 execuções por instância, devido aos componentes de aleatoriedade.

Comparação entre versões

SSP-NPM-I

Médias dos melhores resultados equivalentes para ambas as versões do método.

SSP-NPM-II

Experimentos reduzidos com 105 instâncias selecionadas aleatoriamente. Resultados 54,28% equivalentes, 40,00% piores e apenas 5,71% melhores em relação aos reportados pela primeira versão do método.

Hipótese

Imprevisibilidade do espaço de soluções e pelo impacto do viés na trajetória de busca.

Resultados

Resultados

Resultados melhores ou equivalentes foram encontrados para a maioria dos subconjuntos de instâncias do problema.

Gap(%) encontrados - SSP-NPM-I

- ▶ FMAX: máximo de -2,32%, média de -0,29%;
- ▶ TFT: máximo de -1,47%, média de -0,28%.

Gap(%) encontrados - SSP-NPM-II

- ▶ FMAX: máximo de -13,65%, média de -8,02%;
- ▶ TFT: máximo de -8,38%, média de -5,92%.

Teste de Shapiro-Wilk

O teste de normalidade Shapiro-Wilk, com intervalo de confiança de 95%, rejeitou a hipótese nula de que os resultados comparados, reportados pela ILS desenvolvida neste trabalho e pelo método de Soares (2024), poderiam ser modelados de acordo com uma distribuição normal.

Teste não paramétrico de Wilcoxon

- ▶ $p = (2, 32^{-26}; 2, 91^{-47})$;
- ▶ $V = (19069; 14441)$.

Resultados

Desvio padrão médio - SSP-NPM-I

- ▶ FMAX: 0,01;
- ▶ TFT: 0,005.

Desvio padrão médio - SSP-NPM-II

- ▶ FMAX: 0,07;
- ▶ TFT: 0,05.

Tempo de execução

O tempo limite para execução de 3.600 segundos foi atingido apenas nos dois subconjuntos das maiores instâncias para o objetivo de minimização do TFT.

APROVADO

Busca Local Iterada Aplicada ao Sequenciamento de Tarefas em Máquinas Flexíveis Paralelas Não Idênticas

DAMASCENO, P. L.¹
CARVALHO, M. A. M.²


¹Universidade Federal de Ouro Preto
²Universidade Federal de Ouro Preto/Departamento de Computação

Categoria da apresentação
Trabalho completo (oral)

Por gentileza, selecione a segunda opção de Eixo Temático:
1. AD&GP - PO na Administração e Gestão da Produção

Palavras-chave:
sequenciamento
Máquinas Flexíveis
Busca Local Iterada

Resumo:
O sequenciamento de tarefas em máquinas flexíveis paralelas não idênticas é um problema que consiste em designar um conjunto de tarefas às máquinas flexíveis não idênticas de um sistema. Tais máquinas comportam ferramentas que são utilizadas para realizar diferentes tarefas, como parafusar ou lixar, por exemplo. Em contextos reais, comumente é impossível comportar todas as ferramentas do sistema simultaneamente, o que requer a interrupção das máquinas para a realização de trocas. Tais trocas devem ser minimizadas dadas as implicações financeiras envolvidas. Este problema NP-Difícil é abordado utilizando a metaheurística busca local iterada e são exibidos resultados inéditos para um conjunto de 640 instâncias da literatura. O método proposto foi comparado com o atual estado da arte e demonstrou ser competitivo, obtendo soluções até 16,6% melhores através de experimentos limitados a apenas uma hora de execução por instância.

Upload do trabalho (sem identificação):
 submission-160935-1348986-field_submission_fulltext_files.pdf

Apresentador:
Pedro Lucas Damasceno

Eixo Temático Principal:
16. POI - PO na Indústria

Figura: Artigo aprovado no LV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional.

Agradecimentos

