

Otimização de processos produtivos em sistemas de manufatura flexível

Leonardo Cabral da Rocha Soares
Marco Antonio M. Carvalho

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

08 de novembro de 2023



Sistemas de manufatura flexíveis

Em termos gerais, pode-se afirmar que *sistemas de manufatura flexíveis* (SMFs) são constituídos por um conjunto de máquinas flexíveis interligadas por um sistema automático de manuseio e armazenamento de materiais, controlados por um sistema distribuído de computação.



Objetivos

- Abordar problemas derivados do problema de sequenciamento de tarefas;
- Analisar criticamente os problemas selecionados, incluindo-se instâncias, resultados publicados, limitantes e funções objetivo;
- Propor métodos eficientes que permitam progredir o estado da arte para os problemas abordados.

Com o intuito de abordar os problemas considerados nesta pesquisa, são apresentadas implementações específicas das meta-heurísticas busca local iterada (ILS) e do algoritmo genético de chave aleatórias viciadas (BRKGA) hibridizado com buscas locais organizadas em um método de descida em vizinhança variável (VND).

ILS

A meta-heurística ILS realiza uma exploração enviesada no espaço de soluções. A partir de uma dada solução inicial s para um problema de otimização específico, a ILS aplica alternadamente mecanismos de intensificação e diversificação, gerando uma nova solução s' que é utilizada como solução inicial para a próxima iteração do método. Apesar de conceitualmente simples, a ILS tem sido aplicada com sucesso a diversos problemas computacionalmente difíceis.

Algoritmo genético de chaves aleatórias viciadas hibridizado

BRKGA

O BRKGA é um algoritmo genético que utiliza como codificação chaves geradas aleatoriamente no intervalo contínuo $[0, 1]$. Além de sua codificação, o BRKGA difere dos algoritmos genéticos tradicionais na forma como seus operadores de reprodução e mutação são implementados.

Componente de hibridização

Visando incluir no processo evolutivo do BRKGA características intrínsecas aos problemas abordados, optou-se por hibridizá-lo com buscas locais organizadas em um método de *descida em vizinhança variável*.

Algoritmo genético de chaves aleatórias viciadas hibridizado

BRKGA

O BRKGA é um algoritmo genético que utiliza como codificação chaves geradas aleatoriamente no intervalo contínuo $[0, 1]$. Além de sua codificação, o BRKGA difere dos algoritmos genéticos tradicionais na forma como seus operadores de reprodução e mutação são implementados.

Componente de hibridização

Visando incluir no processo evolutivo do BRKGA características intrínsecas aos problemas abordados, optou-se por hibridizá-lo com buscas locais organizadas em um método de *descida em vizinhança variável*.

Problema de minimização de blocos de uns consecutivos

Definição

Consiste em encontrar uma permutação de colunas em uma matriz binária que minimize o número total de blocos de uns.

Possui aplicação direta em diversos problemas estudados em otimização discreta, incluindo-se problemas derivados do problema de sequenciamento de tarefas.

Principais contribuições

- Uma nova representação em grafos para o problema;
- Uma heurística construtiva;
- Uma implementação da meta-heurística ILS.

A nova representação e a heurística construtiva são eficazes na geração soluções iniciais. Os resultados apresentados pelo ILS superam os existentes na literatura para todos os nove grupos de instâncias artificiais e para quatro dos cinco problemas pertencentes ao conjunto de instâncias reais.

Problema de minimização de blocos de uns consecutivos

Definição

Consiste em encontrar uma permutação de colunas em uma matriz binária que minimize o número total de blocos de uns.

Possui aplicação direta em diversos problemas estudados em otimização discreta, incluindo-se problemas derivados do problema de sequenciamento de tarefas.

Principais contribuições

- Uma nova representação em grafos para o problema;
- Uma heurística construtiva;
- Uma implementação da meta-heurística ILS.

A nova representação e a heurística construtiva são eficazes na geração soluções iniciais. Os resultados apresentados pelo ILS superam os existentes na literatura para todos os nove grupos de instâncias artificiais e para quatro dos cinco problemas pertencentes ao conjunto de instâncias reais.

Problema de minimização de trocas de ferramentas

Definição

É o resultado da combinação dos problemas:

- Sequenciamento do processamento das tarefas na máquina;
- Determinação do plano de troca de ferramentas.

Principais contribuições

- Uma implementação da meta-heurística BRKGA hibridizada com três buscas locais organizadas em um VND;
- Uma implementação da meta-heurística ILS.

Considerando-se todas as instâncias disponíveis, o BRKGA reportou um *gap* médio de 2,51% e a ILS de apenas 0,05%. Considerando-se apenas o conjunto contendo as maiores instâncias, o tempo de execução médio do BRKGA e do ILS são, respectivamente, 35,00% e 41,81% menores do que o tempo requerido pelo método detentor do atual estado da arte.

Problema de minimização de trocas de ferramentas

Definição

É o resultado da combinação dos problemas:

- Sequenciamento do processamento das tarefas na máquina;
- Determinação do plano de troca de ferramentas.

Principais contribuições

- Uma implementação da meta-heurística BRKGA hibridizada com três buscas locais organizadas em um VND;
- Uma implementação da meta-heurística ILS.

Considerando-se todas as instâncias disponíveis, o BRKGA reportou um *gap* médio de 2,51% e a ILS de apenas 0,05%. Considerando-se apenas o conjunto contendo as maiores instâncias, o tempo de execução médio do BRKGA e do ILS são, respectivamente, 35,00% e 41,81% menores do que o tempo requerido pelo método detentor do atual estado da arte.

Problema de sequenciamento de tarefas em máquinas paralelas com limitação de recursos

Definição

Consiste em alocar e sequenciar um conjunto de tarefas a serem processadas por um conjunto de máquinas paralelas respeitando-se as limitações impostas pela utilização de recursos compartilhados.

Problema de sequenciamento de tarefas em máquinas paralelas com limitação de recursos

Principais contribuições

- Apresentou-se uma implementação do método BRKGA hibridizado com quatro buscas locais organizadas em um VND;
- Resultados ótimos foram reportados para todas as instâncias do único **benchmark** disponível na literatura anterior;
- Apresentou-se um novo conjunto de instâncias, contendo 270 problemas desafiadores.

Para geração de soluções ótimas e limitantes inferiores e superiores para o novo conjunto de instâncias, considerou-se quatro modelos matemáticos, duas heurísticas e uma implementação da meta-heurística *general variable neighborhood search*. Considerando-se as novas instâncias, o método proposto reportou um *gap* médio de 22,44% e -7,62%, em comparação aos limites inferiores e superiores, respectivamente.

Problema de sequenciamento de tarefas em máquinas paralelas não-idênticas com restrições de ferramentas

Definição

Consiste em determinar a alocação e o sequenciamento das tarefas em um conjunto de máquinas paralelas não-idênticas, bem como o plano de trocas de ferramentas, de acordo com uma função objetivo.

Principais contribuições

- Apresentou-se duas versões da meta-heurística BRKGA hibridizada com buscas locais organizadas em um VND;
- Todos os resultados ótimos conhecidos foram alcançados;
- Resultados médios melhores ou iguais foram reportados para todos os subconjuntos de instâncias, considerando-se os dois objetivos.

Para o conjunto contendo as maiores instâncias, reporta-se um *gap* médio de -16,07% para a minimização do *makespan* e -14,54% para a minimização do *flow time* total.

Problema de sequenciamento de tarefas em máquinas paralelas não-idênticas com restrições de ferramentas

Definição

Consiste em determinar a alocação e o sequenciamento das tarefas em um conjunto de máquinas paralelas não-idênticas, bem como o plano de trocas de ferramentas, de acordo com uma função objetivo.

Principais contribuições

- Apresentou-se duas versões da meta-heurística BRKGA hibridizada com buscas locais organizadas em um VND;
- Todos os resultados ótimos conhecidos foram alcançados;
- Resultados médios melhores ou iguais foram reportados para todos os subconjuntos de instâncias, considerando-se os dois objetivos.

Para o conjunto contendo as maiores instâncias, reporta-se um *gap* médio de -16,07% para a minimização do *makespan* e -14,54% para a minimização do *flow time* total.

Artigos publicados

- Soares, L. C. R., Reinsma, J. A., Nascimento, L. H. L., e Carvalho, M. A. M. (2020) Heuristic methods to consecutive block minimization. *Computers & Operations Research*, 120, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104948>.
- Soaers, L. C. R. e Carvalho, M. A. M. (2022). Application of a hybrid evolutionary algorithm to resource-constrained parallel machine scheduling with setup times. *Computers & Operations Research*, 139, 105637. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105637>.

Artigo em processo de revisão

- *Biased random-key genetic algorithm for job sequencing and tool switching problem with non-identical parallel machines*. Submetido ao periódico *Computers and Operations Research*.

Agradecimentos



Agradecimentos

