

ALGORITMO VNS APLICADO AO FLEXIBLE JOB-SHOP SCHEDULING PROBLEM ATRAVÉS DE UMA REPRESENTAÇÃO POR SINAIS

Autores: RAMÓN SOUZA SILVA RODRIGUES, JOÃO BATISTA MENDES, MATEUS FELLIPE ALVES LOPES, LEONARDO MACEDO FREIRE, DIEGO LEAL MAIA, VICTOR DE FREITAS ARRUDA

Introdução

Neste trabalho apresentamos uma pesquisa acerca do Problema de Alocação de Recursos Flexível conhecido como *Flexible Job-Shop Scheduling Problem* (FJSSP), identificando os principais trabalhos encontrados na literatura especializada, uma modelagem matemática do problema, onde serão identificados a função objetivo e as principais restrições.

Apresentaremos também uma aplicação para resolução do problema modelado anteriormente utilizando o algoritmo *Variable Neighborhood Search* (VNS) através de uma representação por sinais que permite a manipulação dos operadores de movimento. O tema em questão tem bastante aplicação prática, seja nas indústrias como, por exemplo, o problema de planejamento da produção ou nas instituições de ensino como o problema de alocação de salas de aula.

Material e métodos

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca do problema de alocação de recursos, identificando os principais trabalhos encontrados na literatura especializada. Posteriormente, foi feita uma modelagem matemática do problema, onde foram identificados a função objetivo e as principais restrições encontradas.

No passo seguinte, foi aplicado o algoritmo VNS para resolução do problema modelado anteriormente através da representação por sinais.

Resultados e discussão

A. Referencial teórico

O Problema de Alocação de Recursos é um problema de otimização combinatorial que pertence à classe dos problemas *NP-Hard*. De forma simplificada o problema consiste em alocar máquinas (*machines*, recursos) e trabalhos (*jobs*, atividades) de maneira a otimizar o tempo de execução de todo o conjunto. Sendo que cada máquina pode processar no máximo, uma tarefa de cada vez e cada tarefa possui um tempo específico de execução para cada máquina. No FJSSP não há ordem de precedência para execução dos *jobs*, assim cada *job* pode ser executado sem depender da execução de outro *job*. Este problema vem sendo estudado, principalmente por profissionais da Engenharia, Computação e Matemática e tem sido objeto de uma quantidade significativa de literatura na área de Pesquisa Operacional. Um estudo detalhado sobre *Flexible Job-Shop Scheduling Problems* pode ser visto em Kacem (2005).

Propõe-se neste trabalho apresentar uma descrição do algoritmo VNS para o problema de alocação de recursos. Especificamente, será detalhada uma estrutura de dados para representação da solução implementada pelo algoritmo *Variable Neighborhood Search* - VNS para ser aplicado à resolução do Problema de Alocação. A estrutura proposta é descrita na seção seguinte e mostrada na Fig. 1. O algoritmo em questão foi estudado por Yamada e Nakano (1997) e Hansen e Mladenovic (2001) e sua eficiência está na principal característica de possuir ferramentas que procuram superar os resultados dos ótimos locais quando ainda estamos distantes de um ótimo global em problemas de otimização, expandindo gradativamente sua busca. Seu pseudocódigo pode ser visto na Fig. 2.

A metaheurística, ou heurística inteligente, VNS, tem a principal característica de possuir ferramentas que procuram superar as armadilhas dos ótimos locais quando ainda estamos distantes de um ótimo global em problemas de otimização. Esta característica é compartilhada também com outras metaheurísticas, como por exemplo Algoritmos

Genéticos (AG), Redes Neurais (RN), *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP), *Ant Colony Systems* (ACS) e *Simulated Annealing* (SA) para a solução de problemas NP-Completo e NP-Hard na área de otimização combinatória (SILVA, 2000). Seu princípio básico é a troca de estruturas vizinhas quando a busca está presa em um mínimo local, que muito frequentemente acontece na maioria dos problemas de otimização combinatória.

B. Modelo de representação

Dentre as diversas representações matemáticas que modelam os problemas de natureza combinatorial foi escolhida a representação por sinais que descrevem cada instante de funcionamento de cada *machine*. Esta representação permite a visualização das máquinas através de pulsos e a ausência de pulsos representa a máquina parada, nosso objetivo é aplicar o algoritmo VNS afim de reduzir esse tempo de espera de cada máquina e consequentemente de todo o conjunto.

A representação por sinais proposta por Oppenheim (2010) define um sinal como uma função de uma ou mais variáveis independentes, que contém informações sobre o comportamento ou natureza de algum fenômeno. Tensões e correntes em um circuito elétrico são exemplos de sinais. Cada máquina será tratada como um sinal que será a soma de impulsos. A amplitude do impulso representa o *job* a ser executado e a quantidade de impulsos com a mesma amplitude será o tempo de execução de cada *job*.

Ainda segundo Oppenheim (2010) os sinais aqui tratados são classificados como sinais de tempo discreto, não-lineares, invariantes no tempo, aperiódico, não determinísticos e causais. Sinais de tempo de discreto $x[n]$ são aqueles cuja representação do fenômeno para o qual a variável independente é inerentemente discreta, como dados demográficos por exemplo. Aperiódico pois não há alguma constante positiva N_0 que satisfaça a condição $x[n] = x[n + N_0]$, $\forall n$. Não determinísticos porque há incertezas associadas aos seus valores em qualquer instante de tempo e causais, pois se iniciam no instante $n = 0$.

O algoritmo trabalha primeiramente com o carregamento de um *benchmark* de Taillard (1993). Em seguida uma população inicial aleatória é criada a partir da relação *jobs-machines* e há uma junção do *benchmark* com a população inicial, gerando uma matriz onde cada linha representa uma solução para uma determinada *machine*. Dessa forma representa-se a junção das matrizes e funcionamento do conjunto de máquinas, respectivamente, da seguinte maneira:

$$x_1[n] = [(1,3), (2,2), (3,2)] \rightarrow [1, 1, 1, 2, 2, 3, 3, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}]$$

$$x_2[n] = [(3,2), (1,3), (2,4)] \rightarrow [3, 3, 3, 1, 1, 1, \mathbf{0}, \mathbf{0}, 2, 2, 2]$$

$$x_3[n] = [(2,3), (1,3), (3,1)] \rightarrow [\mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, 2, 2, 2, 1, 1, 1, 3]$$

No exemplo dado acima, o sinal (máquina) x_1 executa o *job* J1 por 3 unidades de tempo, J2 por 2 unidades de tempo, J3 por 2 unidades e os valores nulos representam os tempos de atraso (máquina em espera) por 4 unidades, analogamente temos a execução dos sinais x_2 e x_3 .

A partir de então será aplicado o método VNS para minimização dos tempos de atraso e consequentemente de todo o tempo de execução. Para esta representação, utiliza-se dois principais operadores de movimento (realocação e troca) que compõem as estruturas de vizinhança. Estes operadores de movimento são detalhados em Souza et al. (2002) de forma análoga para o problema de alocação de salas.

C. Resultados

A estrutura do VNS compreende os seguintes passos: Inicialização para encontrar uma solução inicial aleatória x . Repetir os seguintes passos até que a condição de parada seja atendida: (a) Perturbação: Gerar aleatoriamente uma solução inicial $x' \in \mathcal{N}_{sk}(x)$. (b) Busca local: Aplicar uma busca local a partir da solução inicial usando a estrutura de vizinhança até que um mínimo local seja encontrado. (c) Melhorar ou não: Se x'' for melhor que x , faça $x \leftarrow x''$.

Foram realizadas diversas execuções do algoritmo, cada qual com uma instância diferente do *benchmarking* de Taillard (1993) e utilizamos como critério de parada número suficiente de interações que seja capaz de equilibrar o tempo de execução com uma solução ótima. Considera-se interação cada expansão satisfatória do algoritmo VNS, que satisfaça a função objetivo, minimizar o tempo de espera do conjunto de máquinas.

As diversas instâncias utilizadas diferem tanto pela quantidade de *machines* e *jobs*, tanto pelo tamanho de cada execução/duração do *job*. A ideia é testar o desempenho e a eficiência do algoritmo quando submetido a esses diversos cenários.

Na Tabela 1 estão os resultados experimentais obtidos por cada execução do algoritmo VNS. Os experimentos foram realizados com todas as 8 instâncias disponibilizadas por Taillard (1993) para *Job Shop Scheduling*, algumas são conhecidos como moderadamente difíceis, mas alguns são muito difíceis e esse fator é diretamente refletido durante a execução do algoritmo.

Considerações

Este trabalho está contribuindo não somente para o estudo dos problemas de alocação, mas também para o desenvolvimento acadêmico de seus autores, por ter sido a porta de entrada para a iniciação científica.

O algoritmo VNS requer apenas a definição de alguns parâmetros e estruturas de vizinhança, ao contrário de outras metaheurísticas, tais como a Otimização por Enxame de Partículas (PSO) ou a Otimização da Colônia de Formigas (ACO), que requerem a calibragem de parâmetros mais complexos.

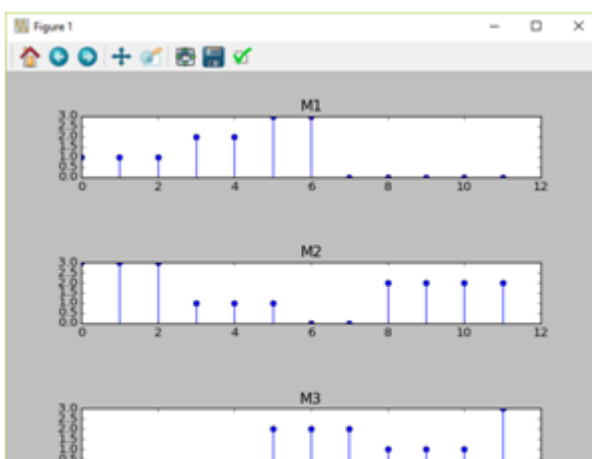
Uma bateria preliminar de testes realizada por (SOUZA et al., 2002) indicou que o algoritmo VNS utilizado separadamente de outros métodos não possui resultados satisfatórios, por isso, como trabalhos futuros pretendemos construir uma melhor solução inicial a utilizar uma solução completamente aleatória.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Montes Claros. Aos professores pelo conhecimento e atenção dispensados, em especial ao orientador deste trabalho que nos deu a oportunidade de iniciar este projeto de Iniciação Científica Voluntária. Aos colegas que compõem esta equipe.

Referências

- HANSEN, P.; MLADENOVIC, N.; Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*. v. 130, n. 3, p. 449-467, mai. 2001. Disponível em . Acesso em 01 out. 2017.
- KACEM, I. Flexible Job-Shop Scheduling Problems. *Encyclopedia of Information Science and Technology*. 2005. Disponível em . Acesso em 01 out. 2017.
- OPPENHEIM, A. V.; WILLISKY, A. S.; NAWAB, S. H. *Sinais e Sistemas*. 2a. ed. Pearson Prentice Hall, 2010. ISBN 9788576055044
- SILVA, M. B.; DRUMMOND, LMA; OCHI, L. S. Metaheurísticas GRASP + VNS para a solução de problemas de otimização combinatória. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. 2000. Vol 32
- SOUZA, M. J. F. et al. Método de Pesquisa em Vizinhança Variável aplicado ao Problema de Alocação de Salas. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2002, Curitiba. Anais... Curitiba: 2002. Disponível em . Acesso em 01 out. 2017.
- TAILLARD, E. Benchmarks for basic scheduling problems. *European Journal of Operational Research*. v. 64, n. 2, p. :278-285, jan. 1993. Disponível em . Acesso em 01 out. 2017.
- YAMADA, T.; NAKANO, R.; Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*. vol. 24, ed. 11, p. 1097-1100, nov. 1997. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054897000312>>. Acesso em 01 out. 2017.



11^o FEPEG FÓRUM

ENSINO • PESQUISA
EXTENSÃO • GESTÃO

UNIVERSIDADE, SOCIEDADE E POLÍTICAS PÚBLICAS

ISSN: 1806-549X

Realização:



SECRETARIA DE
DESENVOLVIMENTO
CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO
E INOVAÇÃO SUPERIOR



Apoio:

