

ALGORITMO GENÉTICO DE CHAVES ALEATÓRIAS VICIADAS APLICADO AO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM MANUFATURA FLEXÍVEL

Guilherme Maciel de Aguiar Nunes Coelho

Universidade Federal de Ouro Preto

gui_coelho@hotmail.com

29 de março de 2017

Introdução

Introdução

Contexto Histórico

- Os grandes avanços tecnológicos nas linhas de produção tiveram como consequência o aumento da competitividade;
- Velocidade e Flexibilidade surgem como características indispensáveis para se sobressair no mercado;
- Surgem os Sistemas de Manufaturas Flexíveis (SMS) como solução para atender essas demandas.

Sistemas de Manufatura Flexível

Sistemas de Manufatura Flexível (SMS)

- Permite uma variabilidade dos produtos a serem produzidos;
- Baixo custo para produção de novos produtos;

Máquinas Flexíveis

- As máquinas flexíveis são como as grandes indústrias, principalmente metalúrgicas, automobilísticas e microeletrônica, adotam o SMS;
- A flexibilidade está atrelada a capacidade de operar em diversas funcionalidades sem precisar ser desligada;
- Cada máquina pode operar com diferentes configurações de ferramentas (e.g. brocas, lâminas de corte, etc) necessárias para a fabricação de diferentes produtos.

Máquinas Flexíveis



Figura: Exemplo de uma máquina flexível.

Sistemas de Manufatura Flexível

Características de uma Máquina Flexível

- Possui um compartimento de capacidade limitada para o carregamento de ferramentas;
- Para a fabricação de um produto é preciso carregar todas as ferramentas requeridas previamente com a máquina desligada;

O Problema

- Diferentes produtos de uma linha de produção podem demandar diferentes configurações de ferramentas;
- Entre a fabricação de diferentes produtos em sequência, eventualmente serão necessárias **trocas de ferramentas** e portanto é preciso desligar a máquina interrompendo a produção;

Sistemas de Manufatura Flexível

Descrição do Problema

A partir de uma demanda de fabricação de uma sequência de produtos é necessário a criação de um plano de produção para que uma máquina flexível seja capaz de operar e cumprir essa demanda.

O Plano de Produção

O plano de produção está dividido em duas etapas:

- Determinar a ordem das tarefas a serem executadas; e
- Decidir quando realizar cada troca de ferramentas e quais ferramentas serão trocadas, de maneira a viabilizar a produção.

Sistemas de Manufatura Flexível

Determinar a ordem das tarefas

A primeira parte do plano de produção é conhecida como o **Problema de Minimização de Trocas de Ferramentas (MTSP)**.

Determinar o número mínimo de trocas de ferramentas para uma sequencia fixa de tarefas

A última parte do plano de produção pode ser determinada em tempo polinomial determinístico pelo algoritmo **Keep Tool Needed Soonest (KTNS)**.

O MTSP

Características do MTSP

O MTSP é classificado como um problema NP-Difícil e geralmente é pensando considerando que as ferramentas possuem o mesmo tamanho e portanto o mesmo custo para realizar uma troca.

O MTSP

Instância do MTSP

Uma instância do MTSP é configurada por:

- O conjunto $T = \{1 \dots n\}$ de tarefas que devem ser processadas;
- O conjunto $F = \{1 \dots m\}$ de ferramentas disponíveis;
- Para cada tarefa $j \in T$, um conjunto de ferramentas $F_j \in F$ necessárias para processamento da mesma; e
- A capacidade C do compartimento de ferramentas da máquina.

O MTSP

Tabela: Exemplo de uma instância do MTSP.

| Tarefas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------|---|---|---|---|---|
| Ferramentas | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| | 4 | | 5 | 5 | 6 |
| Capacidade da máquina: 3 | | | | | |

O MTSP

Função objetivo

$$\min Z_{MTSP} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{i,j} (1 - p_{i,j-1}) \quad (1)$$

Representação Computacional

O Problema de Minimização de Trocas de Ferramentas é representado computacionalmente por uma matriz

- As n colunas correspondem as tarefas; e
- As m linhas correspondem as ferramentas.

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{se a ferramenta } i \text{ está carregada} \\ & \text{na máquina durante a execução da tarefa } j; \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (2)$$

Desenvolvimento

| A | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|---|---|---|---|---|
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabela: Representação da matriz A para uma instância do MTSP.

O MTSP

Solução

Uma solução do MTSP é obtida pela permutação ϕ das colunas da matriz A , resultando na matriz permutação A^ϕ ; O número de trocas de ferramentas em uma solução A^ϕ é equivalente ao número de inversões em cada uma das linhas, e pode ser calculado utilizando o algoritmo KTNS.

O MTSP

Solução

Exemplo de uma solução $\phi = [1, 2, 3, 4, 5]$ para a instância exemplo:

| A^ϕ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---|---|---|---|---|
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabela: Possível solução para o MTSP com 9 trocas no total.

Motivação e Objetivos

Motivação

- O MTSP é um problema NP-Difícil;
- Grande aplicabilidade para a indústria nacional.

Objetivos

- Propor uma heurística para o a resolução do MTSP usando um algoritmo genético;
- Comparar os resultados obtidos com os dados presentes na literatura.

Metodologia

O método proposto

O Algoritmo Genético de Chaves Aleatórias Viciadas (*Biased Random-Key Genetic Algorithm* - BRKGA) é uma variação dos Algoritmos Genéticos, que se baseiam na teoria de *Darwin* sobre a evolução das espécies para resolver problemas de otimização combinatória.

Estrutura do algoritmo

Como em todo algoritmo genético o BRKGA possui 5 etapas bem definidas:

- Gerar a população inicial (os cromossomos);
- Decodificar os indivíduos gerados (Avaliar o valor da função objetivo);
- Classificar os novos indivíduos em grupos (elite e não-elite); e
- Criar novas populações (recombinação, geração de indivíduos mutantes e cópias de indivíduos elite).

BRKGA

Cromossomo no BRKGA;

| | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,25 | 0,10 | 0,75 | 0,00 | 0,90 | 0,42 |
| x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 |

Figura: Adaptado de Gonçalves e Resende (2011).

Decodificação;

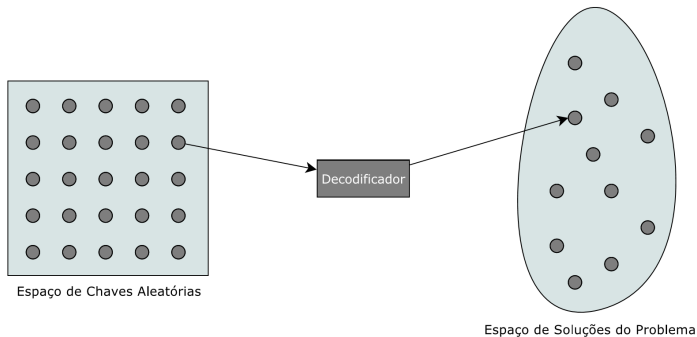


Figura: Adaptado de Gonçalves e Resende (2011).

Exemplo da geração de uma população;

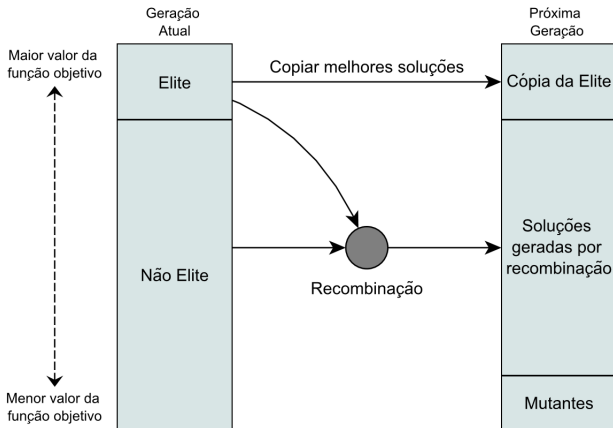


Figura: Adaptado de Gonçalves e Resende (2011).

Processo de recombinação de cromossomos com a probabilidade do gene ser proveniente do cromossomo elite de 70%;

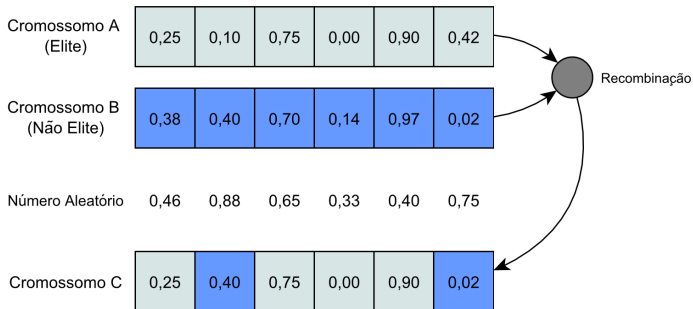
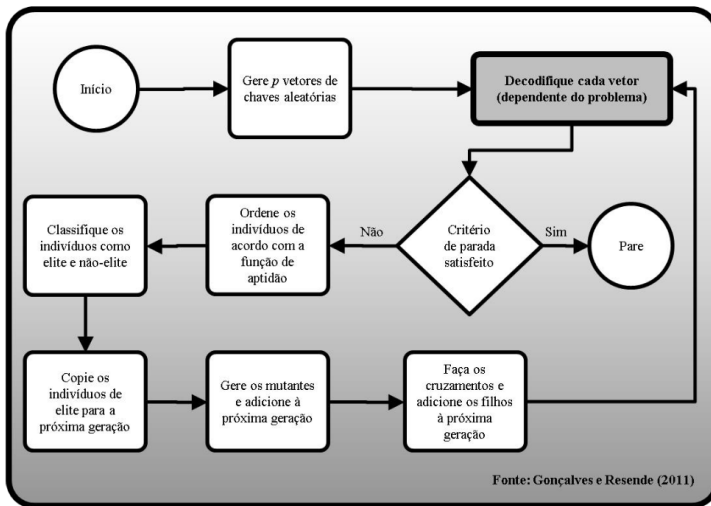


Figura: Adaptado de Gonçalves e Resende (2011).



Desenvolvimento

Aplicando o BRKGA ao MTSP

Para adaptar o BRKGA ao MTSP é preciso alterar o processo de decodificação do algoritmo e separá-lo em duas partes:

- Ordenar os cromossomos pelas chaves aleatórias geradas; e
- Contabilizar o número de trocas da solução.

Desenvolvimento

Exemplo da decodificação de um cromossomo;

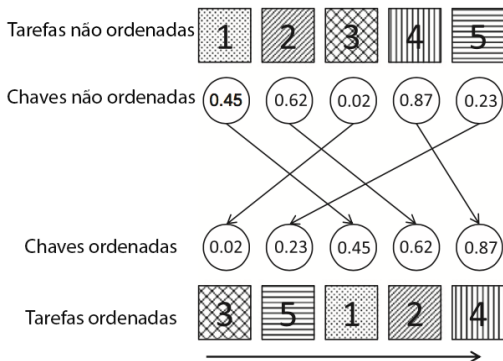


Figura: Adaptado de Gonçalves e Resende (2011).

Contabilizando as trocas de uma solução

O processo de avaliação de uma solução do MTSP utilizado nesse trabalho é o algoritmo determinístico polinomial KTNS proposto por Tang e Denardo (1988).

Experimentos Computacionais

Experimentos Computacionais

Configuração do computador

Foi utilizado um computador com processador *Intel Core i5* de 3.0 GHz com 8 GB RAM, utilizando o sistema operacional Ubuntu 15.10.

Instâncias

Foram testadas 1670 instâncias distintas separadas em três grupos.

Experimentos Computacionais

Método comparado

Os resultados obtidos foram comparados com o método Busca Local Iterada (Iterated Local Search, ou ILS) proposto por Paiva e Carvalho (2016) para os mesmos conjuntos de instâncias.

Resultados

São apresentados a seguir os seguintes resultados:

- O número de instâncias (e);
- A solução média (S);
- O desvio padrão médio (σ);
- O tempo médio de execução em segundos (T); e
- A distância percentual entre os melhores resultados obtidos (gap).

Yanasse et al. (2009)

| Conjunto | <i>e</i> | ILS | | BRKGA | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| | | <i>S</i> | <i>T</i> | <i>S</i> | <i>T</i> | σ | <i>gap</i> |
| <i>A</i> | 340 | 24,54 | 0,11 | 32,23 | 4,54 | 8,81 | 54,90 |
| <i>B</i> | 330 | 25,21 | 0,18 | 34,13 | 3,73 | 7,42 | 41,03 |
| <i>C</i> | 340 | 28,96 | 1,67 | 42,37 | 7,74 | 8,81 | 54,90 |
| <i>D</i> | 80 | 16,89 | 0,51 | 49,20 | 7,48 | 10,21 | 107,17 |
| <i>E</i> | 260 | 24,016 | 6,05 | 24,23 | 3,53 | 2,50 | 10,23 |

Experimentos Computacionais

Crama et al. (1994)

| Conjunto | e | ILS | | BRKGA | | | |
|----------|-----|--------|---------|--------|--------|----------|--------|
| | | S | T | S | T | σ | gap |
| C1 | 40 | 11,75 | 0,07 | 14,72 | 16,49 | 1,44 | 33,94 |
| C2 | 40 | 22,05 | 1,03 | 31,19 | 33,55 | 3,28 | 46,59 |
| C3 | 40 | 79,57 | 175,10 | 167,78 | 65,91 | 8,05 | 104,90 |
| C4 | 40 | 158,72 | 1097,28 | 324,66 | 123,35 | 9,25 | 110,04 |

Experimentos Computacionais

Catanzaro et al. (2015)

| Conjunto | e | ILS | | BRKGA | | | |
|-------------|-----|--------|---------|--------|-------|----------|--------|
| | | S | T | S | T | σ | gap |
| <i>datA</i> | 40 | 10,85 | 0,06 | 14,75 | 2,23 | 0,97 | 28,68 |
| <i>datB</i> | 40 | 21,77 | 1,00 | 32,50 | 11,95 | 4,16 | 50,96 |
| <i>datC</i> | 40 | 75,06 | 174,28 | 166,98 | 25,65 | 12,46 | 135,71 |
| <i>datD</i> | 40 | 158,81 | 1052,25 | 325,73 | 43,83 | 12,22 | 114,64 |

Conclusões

Conclusões

- Importante problema no contexto industrial e para a comunidade científica;
- Baixo tempo de execução para instâncias maiores, permitindo a inclusão métodos adicionais;
- Trabalhos futuros incluem o aprimoramento da heurística proposta com métodos de busca local.

Perguntas?