

Pesquisa Operacional

Igor M. Coelho

13 de Julho de 2020

- 1 Programação Linear Inteira
- 2 Programação Inteira
- 3 Tarefas

Section 1

Programação Linear Inteira

Sobre esse material

Esses slides foram possíveis devido a contribuições de diversas pessoas/materiais, em especial:

- Notas do prof. Marcone Jamilson Freitas Souza
- Livro Nelson Maculan e Marcia Fampa
- Livro-texto do curso
- [2] Tutorial ilectures
(<https://igormcoelho.github.io/ilectures-pandoc/>)
- Vitor Nazário Coelho e Haroldo Gambini pelas dicas no Python-MIP e Gurobi

Fundamentos Necessários

Caso não se sintam confiantes nos tópicos abaixo, façam uma revisão antes de aprofundar neste material:

- Simplex e Programação Linear

Section 2

Programação Inteira

Introdução

Diversos problemas podem ser modelados por desigualdades lineares, no formato padrão de um Problema de Programação Linear (PPL).

Considere um problema da mochila com capacidade Q , na qual um conjunto de itens $i \in \mathcal{I}$ pode ser selecionado, acarretando lucros $p_i \in \mathbb{Z}^+$, mas também incorrendo em pesos $w_i \in \mathbb{Z}^+$.

Problema da Mochila Fracionária

Note que, no PPL abaixo, as variáveis x_i podem assumir valores fracionários:

$$\text{maximizar } \sum_{i \in \mathcal{I}} p_i x_i$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in \mathcal{I}} w_i x_i &\leq Q \\ 0 &\leq x_i \leq 1 && \forall i \in \mathcal{I} \\ x_i &\in \mathbb{R}_{\geq 0} && \forall i \in \mathcal{I} \end{aligned}$$

Problema da Mochila 0-1

Na prática, pode ser desejável que os itens não possam ser divididos. Em outras palavras, gostaríamos que as variáveis x_i assumam valores no conjunto dos inteiros não-negativos.

$$\text{maximizar } \sum_{i \in \mathcal{I}} p_i x_i$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in \mathcal{I}} w_i x_i &\leq Q \\ 0 &\leq x_i \leq 1 && \forall i \in \mathcal{I} \\ x_i &\in \mathbb{Z}_{\geq 0} && \forall i \in \mathcal{I} \end{aligned}$$

Problemas Inteiros

O Simplex serve para resolver problemas fracionários, porém não resolve problemas inteiros.

Ressaltamos que o *Problema de Programação Inteira* ou *Programação Inteira Mista* (MIP) é NP-Difícil, então não é conhecido um algoritmo que resolva todo tipo de MIP em tempo polinomial.

A abordagem padrão consiste em utilizar uma estratégia de enumeração, chamada Branch&Bound, que utiliza o Simplex para efetuar *podas inteligentes* na árvore de ramificação.

Slides Complementares

Veja o slide complementar do prof. Marcone, para uma apresentação com exemplo do método Branch&Bound.

Section 3

Tarefas

Implementação no Python-MIP

A biblioteca `python-mip` é desenvolvida por pesquisadores da *Universidade Federal de Ouro Preto* (UFOP) e pode ser utilizada para modelar e testar problemas MIP.

O resolvidor integrado Coin CBC é bastante eficiente e de código-aberto, sendo capaz de resolver problemas de pequeno e médio porte. Para problemas maiores (e mais complexos) é recomendada a instalação de *solvers* proprietários como CPLEX e Gurobi, integrando ao `python-mip`.

Para instalar o `python-mip` no python3: `pip install mip`.

Documentação online:

<https://python-mip.readthedocs.io/en/latest/examples.html>

Python-MIP com Gurobi

É recomendável a instalação do Gurobi, para acelerar o processo de busca. Veja o link (linux, windows e mac):

- <https://www.gurobi.com/documentation/quickstart.html>
- <https://www.gurobi.com/downloads/gurobi-optimizer> (é necessário registrar!)

Para **Linux** com **Gurobi 9.0.2**: (LINK para gurobi.com)

- Baixe o arquivo `gurobi9.0.2_linux64.tar.gz`, e então:
 - `tar xvfz gurobi9.0.2_linux64.tar.gz gurobi902/`
 - `sudo mv gurobi902 /opt/` (instala na pasta /opt)
- Adicione em `~/.bashrc` os seguintes ambientes:

```
export GUROBI_HOME=/opt/gurobi902/linux64
export PATH=$GUROBI_HOME/bin:$PATH
export LD_LIBRARY_PATH=$GUROBI_HOME/lib:$LD_LIBRARY_PATH
```

Python-MIP com Gurobi (Licença)

Pedindo licença acadêmica (LINK para gurobi.com).

Você obterá um código tipo

a13f503a-c5f6-11ea-b1bb-xxxxxxxxxxxxx, então basta executar:

- `source ~/.bashrc` (carrega variáveis de ambiente)
- `grbgetkey a13f503a-c5f6-11ea-b1bb-xxxxxxxxxxxxx`
- `gurobi.sh` (executa o gurobi)

O `python-mip` automaticamente usará o Gurobi se ele estiver disponível no sistema.

Python-MIP exemplo Mochila 0-1

```
from mip import Model, xsum, maximize, BINARY

# dados do problema
p = [10, 13, 9, 31, 7, 15]
w = [11, 15, 10, 35, 10, 33]
Q, I = 47, range(len(w))

# cria um modelo
m = Model("knapsack")
# adiciona variáveis 'x' ao modelo 'm'
x = [m.add_var(var_type=BINARY) for i in I]
# especifica a função objetivo do modelo 'm'
m.objective = maximize(xsum(p[i] * x[i] for i in I))
# adiciona restrições ao modelo 'm'
m += xsum(w[i] * x[i] for i in I) <= Q
```

Python-MIP exemplo Mochila 0-1

```
# resolve o modelo 'm'
status = m.optimize()

# Imprime a solução final obtida.
# Note que variáveis da relaxação assumem valores
# tipo 'float', então precisamos ter certa tolerância
# para inferir respectivos valores inteiros '0' e '1'
selected = [i for i in I if x[i].x >= 0.99]
print("selected items: {}".format(selected))

# imprime a situação da otimização e valor objetivo
print("status =", status, " obj =", m.objective_value)
# imprime o valor para cada variável na solução
for i in I:
    print("i=", i, "->", x[i].x)
```

Tarefa Python-MIP com Mochila

O valor ótimo esperado é 41, com $x = (1, 0, 0, 1, 0, 0)$.

Tarefa: efetue as seguintes modificações no exemplo anterior, e verifique os valores obtidos na solução ótima:

- substitua o tipo BINARY por INTEGER nas variáveis (e faça a devida importação no python) e obtenha ótimo 42 com $x = (2, 1, 1, 0, 0, 0)$.
- substitua o tipo BINARY por CONTINUOUS nas variáveis (e faça a devida importação no python) e obtenha ótimo 42.7273 com $x = (4.273, 0, 0, 0, 0, 0)$.

Analise o significado dessas modificações, bem como os valores de solução obtidos.

Para a próxima aula

Implemente os modelos do *Problema do Caminho Mínimo* e *Problema do Fluxo Máximo* utilizando o `python-mip`.

Dica: observe os modelos existentes no material complementar do curso (apostila do prof. Marcone Jamilson Freitas Souza).

Lista de Exercícios

A lista de exercícios está disponibilizada no site.