



Universidade de São Paulo
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Departamento de Ciências de Computação
SCC0202 – Algoritmos e Estruturas de Dados I

Projeto: Árvore Rubro Negra

Professor: Dr. Marcelo Garcia Manzato (mmanzato@icmc.usp.br)
Estagiários PAE: Fernanda (fernanda.marana@usp.br) e Fernando (fernando.soares.aguiar@usp.br)

Descrição

Neste projeto você deve implementar a árvore LLRB (Left-Leaning Red-Black). A sua implementação deve ter as seguintes operações:

- Inserção de um número inteiro na árvore balanceada em $O(\log n)$
- Sucessor de uma chave em $O(\log n)$
- Predecessor de uma chave $O(\log n)$
- Máximo $O(\log n)$
- Mínimo $O(\log n)$
- Impressão pré-ordem, em-ordem e pós-ordem em $O(n)$
- Inicialização de uma árvore balanceada em $O(1)$
- Desalocação da árvore em $O(n)$

Note que remoção de um único elemento não faz parte do conjunto obrigatório de operações, com a finalidade de simplificar o projeto.

Entrada

A entrada deve ser lida da entrada padrão e tem o seguinte formato: a primeira linha contém o número de operações N . As próximas N linhas contém as operações, uma por linha. As operações possuem o seguinte formato:

O X

No qual, O pode assumir **1** para inserção, **2** para sucessor, **3** para predecessor, **4** para máximo, **5** para mínimo, **6** para impressão pré-ordem, **7** para impressão em-ordem e **8** para impressão pós-ordem. Utilize as operações de inicialização e desalocação da árvore no início e final da execução, respectivamente. X é um valor inteiro e ocorre nas opções **1** (inserção), **2** (sucessor) e **3** (predecessor) apenas.

Saída

Para a operação **1** (inserção) não imprima nada na tela. Para as operações **2** (sucessor), **3** (predecessor), **4** (máximo) e **5** (mínimo) imprima um único número inteiro com a resposta em uma linha em separado.

Para as operações **6** (impressão pré-ordem), **7** (em-ordem) e **8** (pós-ordem), imprima uma sequência de números inteiros separados com um único espaço em branco entre números e em uma linha em separado. Para respostas a consultas inválidas, imprima a mensagem “erro” em uma linha em separado.

Observações

- O uso da estrutura árvore é obrigatório;
- Somente as bibliotecas `stdio.h`, `stdlib.h` e `string.h` podem ser utilizadas.

Exemplos

Entrada

```
10
1 5
1 4
1 3
1 2
1 1
3 1
2 1
4
5
7
```

Saída

```
2
erro
5
1
1 2 3 4 5
```

Referências para estudo

- <https://youtu.be/1TW21HJT7xE>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Left-leaning_red%E2%80%93black_tree
- <https://www.cs.princeton.edu/~rs/talks/LLRB/RedBlack.pdf>