Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

INF 1007 – Programação II

Aula 08 – Busca em Vetor

visionlab visualization laboratory

Edirlei Soares de Lima

<elima@inf.puc-rio.br>

Busca em Vetor

- **Problema:**
  - **Entrada:**
    - vetor v com n elementos;
    - elemento d a procurar;
  - **Saída:**
    - m se o elemento procurado está em v[m];
    - -1 se o elemento procurado não está no vetor;
- **Tipos de Busca em Vetor:**
  - Linear (ou sequencial);
  - Binária;

Busca Linear em Vetor

- **Algoritmo:** Percorra o vetor `vet`, elemento a elemento, verificando se `elem` é igual a um dos elementos de `vet`:

```
int busca(int n, int *vet, int elem)
{
  int i;
  for (i=0; i<n; i++)
  {
    if (elem == vet[i])
      return i; /* encontrou */
  }
  /* não encontrou */
  return -1;
}
```

Análise da Busca Linear em Vetor

- **Pior Caso:** o elemento não está no vetor
  - Neste caso são necessárias n comparações
  - $T(n) = n \rightarrow O(n)$ - Linear!

- **Melhor Caso:** o elemento é o primeiro
  - $T(n) = O(1)$

- **Caso Médio:**
  - n/2 comparações
  - $T(n) = n/2 \rightarrow O(n)$ - Linear!

Complexidade de algoritmos: Na análise de complexidade, analisamos o "Pior Caso", o "Melhor Caso" e o "Caso Médio"

Busca Linear em Vetor Ordenado

- **E se o vetor estiver ordenado? Como ficaria o algoritmo?**

```
int busca_ord(int n, int *vet, int elem)
{
  int i;
  for (i=0; i<n; i++)
  {
    if (elem == vet[i])
      return i; /* encontrou */
    else if (elem < vet[i])
      return -1;/* interrompe busca */
  }
  /* não encontrou */
  return -1;
}
```

Busca Linear em Vetor Ordenado

- Qual a complexidade do algoritmo de busca linear em vetor ordenado?

- **Melhor Caso:**
  - T(n) = O(1)

- **Pior Caso:**
  - T(n) = n → O(n) - Linear!

Um algoritmo pode ter a mesma complexidade de um outro, porém pode ser mais, ou menos, eficiente. Eficiência e Complexidade são coisas diferentes!

Busca Binária em Vetor Ordenado

- **Entrada:**
  - vetor v com n elementos ordenados;
  - elemento d a procurar;
- **Saída:**
  - m se o elemento procurado está em v[m];
  - -1 se o elemento procurado não está no vetor;
- **Procedimento:**
  - Compare o elemento d com o elemento do meio de v;
  - Se o elemento d for menor, pesquise a primeira metade do vetor;
  - Se o elemento d for maior, pesquise a segunda parte do vetor;
  - Se o elemento d for igual, retorne a posição
  - Continue o procedimento subdividindo a parte de interesse até encontrar o elemento d ou chegar ao fim;

```
int busca_bin(int n, int *vet, int elem)
{
  /* no início consideramos todo o vetor */
  int ini = 0;
  int fim = n-1;
  int meio;
  /* enquanto a parte restante for maior que zero */
  while(ini <= fim)
  {
    meio = (ini + fim) / 2;
    if (elem < vet[meio])
      fim = meio – 1; /* ajusta posição final */
    else if (elem > vet[meio])
      ini = meio + 1; /* ajusta posição inicial */
    else
      return meio; /* elemento encontrado */
  }
  return -1; /* não encontrou: restou tamanho zero */
}
```

Versão com Função para Comparação

```
int busca_bin(int n, int *vet, int elem)
{
  int ini = 0;
  int fim = n-1;
  int meio, cmp;
  while(ini <= fim)
  {
    meio = (ini + fim) / 2;
    cmp = comp_int(elem, vet[meio]);
    if (cmp < 0)
      fim = meio - 1;
    else if (cmp > 0)
      ini = meio + 1;
    else
      return meio;
  }
  return -1;
}
```

```
int comp_int(int a, int b)
{
  if (a < b)
    return -1;
  else if (a > b)
    return 1;
  else
    return 0;
}
```

Busca Binária em Vetor Ordenado

- **Pior caso:** elemento não está no vetor
  - 2 comparações são realizadas a cada ciclo;
  - a cada repetição, a parte considerada na busca é dividida na metade;
  - T(n) = **O(log n)**

Repetição	Tamanho do Problema
1	n
2	n/2
3	n/4
4	n/8
...	...
log n	1

Analise de Algoritmos – Tipos de Crescimentos

Big-O Complexity

Operations: 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000

Elements: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100

- O(1)
- O(logn)
- O(n)
- O(nlogn)
- O(n^2)
- O(2^n)
- O(n!)

Diferença entre O(n) e O(log n)

Tamanho	O(n)	O(log n)
10	10 seg	3 seg
60	1 min	6 seg
600	10 min	9 seg
3 600	1 hora	12 seg
86 400	1 dia	16 seg
2 592 000	1 mês	21 seg
946 080 000	1 ano	30 seg
94 608 000 000	100 anos	36 seg

Complexidade de Algoritmos

- **Em geral:**
  - Uma única operação (ou comando) tem um tempo de execução de O(1);
  - Um loop que é repetido n vezes tem O(n);
  - Dois laços aninhados (nested loops) indo de 1 a n tem $O(n^2)$;
- **Se um algoritmo tem vários passos de complexidades diferentes, a complexidade geral do algoritmo é dado pela complexidade máxima:**
  - Por exemplo, um algoritmo com 3 passos de $O(n^2)$, $O(n^2)$ e O(n), tem complexidade $O(n^2)$;

Busca Binária em Vetor Ordenado

- **O que pode variar no algoritmos da busca binária?**
  - Critério de ordenação (primário e desempates);
  - A informação retornada:
    - O índice do elemento encontrado ou -1;
    - O valor de um campo específico;
    - O ponteiro para o elemento encontrado;
    - 1 se encontrou, ou 0, caso contrário;
    - Outras...
  - Repetição ou não de valores (chaves).

Exercício 1 – Busca String

- **Escreva um programa que permita buscar um nome em um vetor de strings ordenado alfabeticamente.**

  – A função de busca deve seguir o seguinte protótipo:

```
int busca_bin(int n, char vet[][20], char *elem)
```

  – Dica: lembre-se que a função `strcmp(a,b)` já faz o trabalho de retornar:
    - -1 se a < b;
    - +1 se a > b;
    - 0 se a == b;

Exercício 1 - Solução

```
int busca_bin(int n, char vet[][20], char *elem)
{
  int ini = 0;
  int fim = n-1;
  int meio, cmp;
  while(ini <= fim)
  {
    meio = (ini + fim) / 2;
    cmp = strcmp(elem, vet[meio]);
    if (cmp < 0)
      fim = meio - 1;
    else if (cmp > 0)
      ini = meio + 1;
    else
      return meio;
  }
  return -1;
}
```

Exercício 1 - Solução

```
int main (void)
{
  char nomes[][20] = {{"Ana"},{"Joao"},{"Maria"},
                      {"Pedro"},{"Silvio"}};
  char elem[] = "Silvio";

  int res = busca_bin(5, nomes, elem);

  printf("%d\n", res);
  return 0;
}
```

Exercício 2 – Busca Estrutura

- Escreva um programa que crie um vetor de ponteiros para a estrutura Aluno (ordenado crescentemente por nome e matricula) e permita realizar buscas por nomes nesse vetor.

```
struct aluno
{
  char *nome;
  int matricula;
};
typedef struct aluno Aluno;
```

  – A função de busca binária deve receber como parâmetros o número de alunos, o vetor e o nome do aluno que se deseja buscar, e deve ter como valor de retorno um ponteiro para o registro do aluno procurado. Se não houver um aluno com o nome procurado, a função deve retornar NULL.

Exercício 2 - Solução

```
Aluno* busca_bin(int n, Aluno *vet, char *elem)
{
  int ini = 0;
  int fim = n-1;
  int meio, cmp;
  while(ini <= fim)
  {
    meio = (ini + fim) / 2;
    cmp = strcmp(elem, vet[meio].nome);
    if (cmp < 0)
      fim = meio - 1;
    else if (cmp > 0)
      ini = meio + 1;
    else
      return &vet[meio];
  }
  return NULL;
}
```

Exercício 2 - Solução

```
int main (void)
{
  Aluno alunos[] = {{"Ana", 1},{"Joao", 2},{"Maria", 3},
                    {"Pedro", 4},{"Silvio", 5}};
  char elem[] = "Silvio";

  Aluno *res = busca_bin(5, alunos, elem);

  printf("Nome: %s\nMatricula: %d \n", res->nome, res->matricula);
  return 0;
}
```

Exercício 3 – Busca Critério de Ordenação

- Considere a seguinte estrutura representando um registro de um calendário de provas:

```
struct prova
{
  char *disciplina;
  Data dt_prova;
  Data dt_seg_chamada;
};
typedef struct prova Prova;

struct data
{
  int dia, mes, ano;
};
typedef struct data Data;
```

Exercício 3 – Busca Critério de Ordenação

- Escreva uma função que faça uma busca binária em um vetor de ponteiros para o tipo Prova, cujos elementos estão em ordem cronológica, de acordo com a data da prova (dt_prova), com desempate pela ordem alfabética de acordo com o nome da disciplina.
  - Se existir mais de uma prova na data procurada, a função deve retornar o índice da primeira delas;
  - Se não houver uma prova com a data procurada, a função deve retornar -1;
  - Sua função deve ter o seguinte cabeçalho:

```
int busca(Prova **v, int n, Data d);
```

Exercício 3 - Solução

```
int datacmp(Data d1, Data d2)
{
  if(d1.ano<d2.ano)
    return -1;
  if(d1.ano>d2.ano)
    return 1;
  if(d1.mes<d2.mes)
    return -1;
  if(d1.mes>d2.mes)
    return 1;
  if(d1.dia<d2.dia)
    return -1;
  if(d1.dia>d2.dia)
    return 1;
  return 0;
}
```

```c
int busca_bin(Prova **v, int n, Data d)
{
  int ini = 0;
  int fim = n-1;
  int meio, cmp;
  while(ini <= fim)
  {
    meio = (ini + fim) / 2;
    cmp = datacmp(d, v[meio]->dt_prova);
    if (cmp == -1)
      fim = meio - 1;
    else if (cmp == 1)
      ini = meio + 1;
    else
    {
      while((meio > 0) && (datacmp(d, v[meio-1]->dt_prova)==0))
        meio--;
      return meio;
    }
  }
  return -1;
}
```

Binary Search da `stdlib.h`

```
void * bsearch(void * info, void * v, int n, int tam,
               int (*cmp)(const void *, const void *));
```

- Parâmetros:
  - **info:** ponteiro para a informação que se deseja buscar;
  - **v:** vetor de ponteiros genéricos (ordenado);
  - **n:** número de elementos do vetor;
  - **tam:** tamanho em bytes de cada elemento (use sizeof para especificar);
  - **cmp:** ponteiro para função que compara elementos genéricos, sendo o primeiro o endereço da informação e o segundo é o ponteiro para um dos elementos do vetor. O critério de comparação deve ser o mesmo da ordenação de v. A função deve retornar <0 se a<b, >0 se a>b e 0 se a == b;

Binary Search da `stdlib.h`

```
void * bsearch(void * info, void * v, int n, int tam,
               int (*cmp)(const void *, const void *));
```

- Exemplo de função de comparação:

const é para garantir que a função não modificará os valores dos elementos

```
static int compInt(const void * a, const void * b)
{
  int * info = (int *)a; // converte o ponteiro genérico
  int * bb = (int *)b;   // converte o ponteiro genérico
  if (*info < *bb)       // faz as comparações
   return -1;
  else if (*info > *bb)
    return 1;
  else
    return 0;
}
```

Binary Search da `stdlib.h`

```
void * bsearch(void * info, void * v, int n, int tam,
               int (*cmp)(const void *, const void *));
```

- Exemplo de chamada:

```
int d = 23;
int *p;

p = (int *)bsearch(&d,v,N,sizeof(int),compInt); // N é o tamanho de v

i = p - v; // indice do elemento encontrado
```

```c
static int compInt(const void * a, const void * b)
{
  int * info = (int *)a;
  int * bb = (int *)b;
  if (*info < *bb)
   return -1;
  else if (*info > *bb)
    return 1;
  else
    return 0;
}

int main (void)
{
  int vet[6], elem = 16, *p;
  vet[0] = 8;
  vet[1] = 16;
  vet[2] = 22;
  vet[3] = 24;
  vet[4] = 25;
  vet[5] = 32;
  p = (int *)bsearch(&elem, vet, 6, sizeof(int), compInt);
  if (p != NULL)
    printf("Valor: %d \nIndice: %d\n", *p, p - vet);
  return 0;
}
```

Bsearch – Exemplo 2

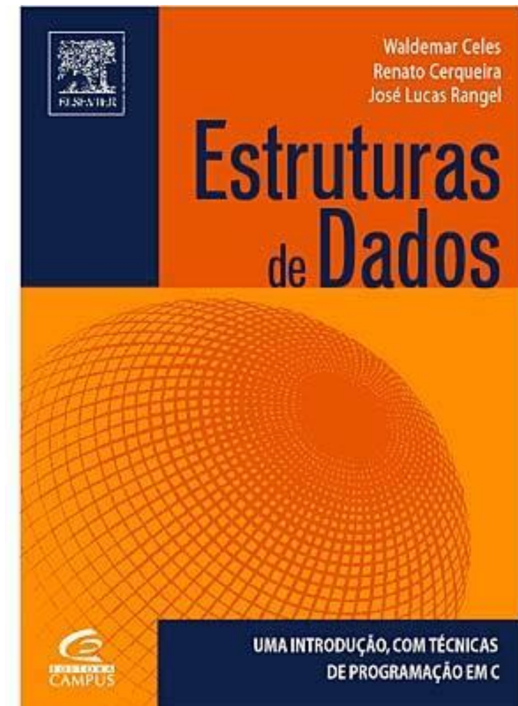
```
struct aluno
{
  int matricula;
  char nome[41];
};
typedef struct aluno Aluno;

static int compPStructStr(const void * a, const void * b)
{
  char *info = (char *)a;
  Aluno **bb = (Aluno **)b;
  return strcmp(info, (*bb)->nome);
}

int main (void)
{
  Aluno *alunos[6];
  Aluno **p;
  char elem[] = "Maria";
  alunos[0] = (Aluno*)malloc(sizeof(Aluno));
  alunos[0]->matricula = 2654951;
  strcpy(alunos[0]->nome, "Ana");
```

```
  alunos[1] = (Aluno*)malloc(sizeof(Aluno));
  alunos[1]->matricula = 62151578;
  strcpy(alunos[1]->nome, "Bruno");

  alunos[2] = (Aluno*)malloc(sizeof(Aluno));
  alunos[2]->matricula = 51364125;
  strcpy(alunos[2]->nome, "Joao");

  alunos[3] = (Aluno*)malloc(sizeof(Aluno));
  alunos[3]->matricula = 82135123;
  strcpy(alunos[3]->nome, "Julia");

  alunos[4] = (Aluno*)malloc(sizeof(Aluno));
  alunos[4]->matricula = 45612681;
  strcpy(alunos[4]->nome, "Maria");

  alunos[5] = (Aluno*)malloc(sizeof(Aluno));
  alunos[5]->matricula = 35641215;
  strcpy(alunos[5]->nome, "Pedro");

  p = (Aluno **) bsearch(&elem, alunos, 6, sizeof(Aluno*),
                                                          compPStructStr);
  if (p != NULL)
    printf("%d\n", (*p)->matricula);

  return 0;
}
```

Leitura Complementar

- Waldemar Celes, Renato Cerqueira, José Lucas Rangel, **Introdução a Estruturas de Dados**, Editora Campus (2004).

- **Capítulo 17 – Busca**



Exercícios

Lista de Exercícios 07 – Busca