Programação de Computadores II

Cap. 16 – Ordenação

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

Slides adaptados dos originais dos profs.: Marco Antonio Casanova e Marcelo Gattass (PUC-Rio)

Referências

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

Capítulo 16 – Ordenação

Tópicos

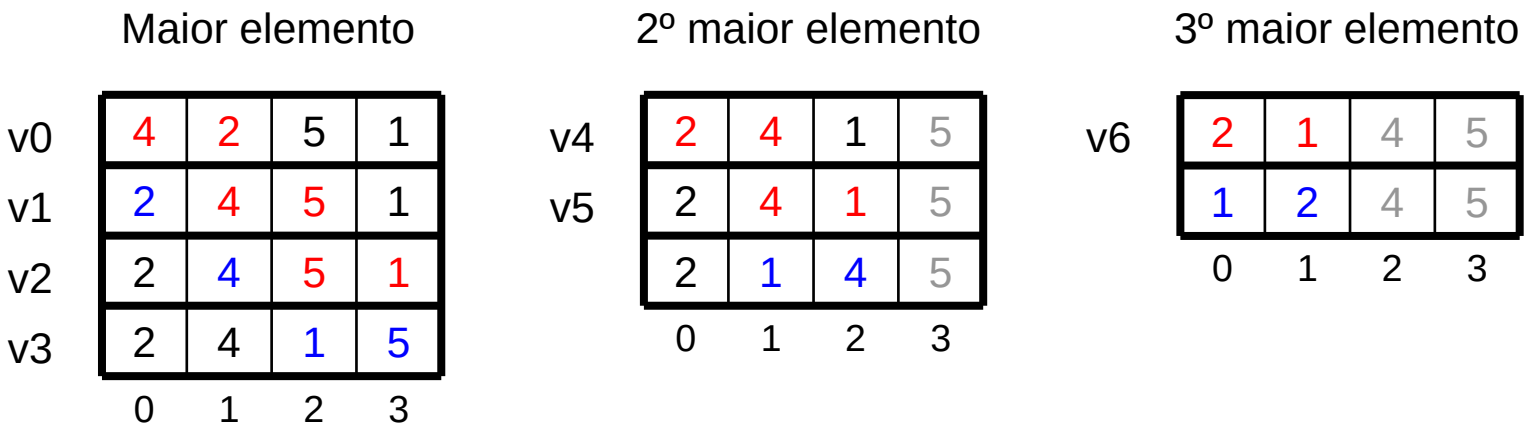
- Introdução
- Ordenação bolha (*bubble sort*)
- Ordenação rápida (*quick sort*)

Introdução

- Ordenação de vetores:
  - entrada: vetor com os elementos a serem ordenados
  - saída: mesmo vetor com elementos na ordem especificada
  - ordenação:
    - pode ser aplicada a qualquer dado com ordem bem definida
    - vetores com dados complexos (structs)
      - chave da ordenação escolhida entre os campos
      - elemento do vetor contém apenas um ponteiro para os dados
      - troca da ordem entre dois elementos = troca de ponteiros

Ordenação Bolha

- Ordenação bolha:
  - processo básico:
    - quando dois elementos estão fora de ordem, troque-os de posição até que o i-ésimo elemento de maior valor do vetor seja levado para as posições finais do vetor
  - continue o processo até que todo o vetor esteja ordenado



Ordenação Bolha

```
25 48 37 12 57 86 33 92    25x48
25 48 37 12 57 86 33 92    48x37 troca
25 37 48 12 57 86 33 92    48x12 troca
25 37 12 48 57 86 33 92    48x57
25 37 12 48 57 86 33 92    57x86
25 37 12 48 57 86 33 92    86x33 troca
25 37 12 48 57 33 86 92    86x92
25 37 12 48 57 33 86 92    final da primeira passada
```

o maior elemento, 92, já está na sua posição final

Ordenação Bolha

```
25 37 12 48 57 33 86 92    25x37
25 37 12 48 57 33 86 92    37x12 troca
25 12 37 48 57 33 86 92    37x48
25 12 37 48 57 33 86 92    48x57
25 12 37 48 57 33 86 92    57x33 troca
25 12 37 48 33 57 86 92    57x86
25 12 37 48 33 57 86 92    final da segunda passada
```

o segundo maior elemento, 86, já está na sua posição final

Ordenação Bolha

```
25 12 37 48 33 57 86 92    25x12 troca
12 25 37 48 33 57 86 92    25x37
12 25 37 48 33 57 86 92    37x48
12 25 37 48 33 57 86 92    48x33 troca
12 25 37 33 48 57 86 92    48x57
12 25 37 33 48 57 86 92    final da terceira passada
```

Idem para 57.

```
12 25 37 33 48 57 86 92    12x25
12 25 37 33 48 57 86 92    25x37
12 25 37 33 48 57 86 92    37x33 troca
12 25 33 37 48 57 86 92    37x48
12 25 33 37 48 57 86 92    final da quarta passada
```

Idem para 48.

```
12 25 33 37 48 57 86 92    12x25
12 25 33 37 48 57 86 92    25x33
12 25 33 37 48 57 86 92    33x37
12 25 33 37 48 57 86 92    final da quinta passada
```

Idem para 37.

```
12 25 33 37 48 57 86 92    12x25
12 25 33 37 48 57 86 92    25x33
12 25 33 37 48 57 86 92    final da sexta passada
```

Idem para 33.

```
12 25 33 37 48 57 86 92    12x25
12 25 33 37 48 57 86 92    final da sétima passada
```

Idem para 25 e, conseqüentemente, 12.

```
12 25 33 37 48 57 86 92    final da ordenação
```

Ordenação Bolha

- Implementação Iterativa(I):

```
/* Ordenação bolha */
void bolha (int n, int* v)
{
  int fim,i;
  for (fim=n-1; fim>0; fim--)
    for (i=0; i<fim; i++)
       if (v[i]>v[i+1]) {
          int temp = v[i] /* troca */
          v[i] = v[i+1];
          v[i+1] = temp;
       }
}
```

Ordenação Bolha

- Implementação Iterativa (II):

```
/* Ordenação bolha (2a. versão) */
void bolha (int n, int* v)
{  int i, fim;
   for (fim=n-1; fim>0; fim--) {
        int troca = 0;
        for (i=0; i<fim; i++)
            if (v[i]>v[i+1]) {
                int temp = v[i]; /* troca */
                v[i] = v[i+1];
                v[i+1] = temp;
                troca = 1;
            }
      if (troca == 0) return; /* não houve troca */
   }
}
```

para quando há

uma passagem inteira

sem trocas

Ordenação Bolha

- Esforço computacional:
  - esforço computacional ≅ número de comparações
    ≅ número máximo de trocas
    - primeira passada: n-1 comparações
    - segunda passada: n-2 comparações
    - terceira passada: n-3 comparações
    - ...
  - tempo total gasto pelo algoritmo:
    - T proporcional a: $(n-1) + (n-2) + ... + 2 + 1 = n(n-1+1) / 2 = \mathbf{n^2 / 2}$
    - algoritmo de ordem quadrática: ***O(n^2)***

Ordenação Bolha

- **Implementação recursiva:**

```
/* Ordenação bolha recursiva */
void bolha_rec (int n, int* v)
{
   int i;
   int troca = 0;
   for (i=0; i<n-1; i++)
        if (v[i]>v[i+1]) {
           int temp = v[i];   /* troca */
           v[i] = v[i+1];
           v[i+1] = temp;
           troca = 1;
      }
    if (troca != 0)&&(n>1) /* houve troca e n>1 */
      bolha_rec(n-1,v);
}
```

Ordenação Rápida

- Ordenação rápida (“*quick sort”):*
  - escolha um elemento arbitrário x, o *pivô*
  - rearrume o vetor de tal forma que x fique na posição correta v[i]
    - x deve ocupar a posição i do vetor sse
      todos os elementos v[0], … v[i-1] são menores que x e
      todos os elementos v[i+1], …, v[n-1] são maiores que x
  - chame recursivamente o algoritmo para ordenar os (sub-)vetores v[0], … v[i-1] e v[i+1], …, v[n-1]
  - continue até que os vetores que devem ser ordenados tenham 0 ou 1 elemento

Ordenação Rápida

- Esforço computacional:
  - melhor caso:
    - pivô representa o valor mediano do conjunto dos elementos do vetor
    - após mover o pivô para sua posição, restarão dois sub-vetores para serem ordenados, ambos com o número de elementos reduzido à metade, em relação ao vetor original
    - algoritmo é *O(n log(n))*
  - pior caso:
    - pivô é o maior elemento e algoritmo recai em ordenação bolha
  - caso médio:
    - algoritmo é *O(n log(n))*

Ordenação Rápida

- Rearrumação do vetor para o pivô de x=v[0]:
  - do início para o final, compare x com v[1], v[2], …
    até encontrar v[a]>x
  - do final para o início, compare x com v[n-1], v[n-2], …
    até encontrar v[b]<=x
  - troque v[a] e v[b]
  - continue para o final a partir de v[a+1] e
    para o início a partir de v[b-1]
  - termine quando os pontos de busca se encontram (b<a)
  - a posição correta de x=v[0] é a posição b e v[0] e v[b] são trocados

25 48 37 12 57 86 33 92
25 48 37 12 57 86 33 92
25 48 37 12 57 86 33 92 v[1]>25, a=1
25 48 37 12 57 86 33 92
25 48 37 12 57 86 33 92
25 48 37 12 57 86 33 92
25 48 37 12 57 86 33 92
25 48 37 12 57 86 33 92 v[3]<25, b=3
25 12 37 48 57 86 33 92 troca v[1] com v[3]
25 12 37 48 57 86 33 92 a=b=2

25 12 37 48 57 86 33 92 a=2, pois todos v[2]>25
25 12 37 48 57 86 33 92 b=1, pois v[1]<25 (índices cruzaram)
12 25 37 48 57 86 33 92

12 25 37 48 57 86 33 92
12 25 37 48 57 86 33 92, a=1, no vetor que começa em 37
12 25 37 48 57 86 33 92, b=4, no vetor que começa em 37
12 25 37 33 57 86 48 92, faz a troca, a=2
12 25 37 33 57 86 48 92, b=1 (b<a)
12 25 33 37 57 86 48 92, troca v[0] por v[b]

Ordenação Rápida

- vetor inteiro de v[0] a v[7]

  (0-7) 25 48 37 12 57 86 33 92
- determine a posição correta de x=v[0]=25
  - de a=1 para o fim: 48>25 (a=1)
  - de b=7 para o início: 25<92, 25<33, 25<86, 25<57 e 12<=25 (b=3)

  (0-7) 25 48 37 12 57 86 33 92

  a↑ *b*↑
- troque v[a]=48 e v[b]=12, incrementando a e decrementando b
- nova configuração do vetor:

  (0-7) 25 12 37 48 57 86 33 92

  a,b↑

Ordenação Rápida

- configuração atual do vetor:

  (0-7) 25 12 37 48 57 86 33 92

  a,b ↑

- determine a posição correta de x=v[0]=25
  - de a=2 para o final: 37>25 (a=2)
  - de b=2 para o início: 37>25 e 12<=25 (b=1)
- os índices a e b se cruzaram, com b<a

  (0-7) 25 12 37 48 57 86 33 92

  b ↑ *a* ↑
  - todos os elementos de 37 (inclusive) para o final são maiores que 25 e
    todos os elementos de 12 (inclusive) para o início são menores que 25 – com exceção de 25
- troque o pivô v[0]=25 com v[b]=12, o último dos valores menores que 25 encontrado
- nova configuração do vetor, com o pivô 25 na posição correta:

  (0-7) 12 25 37 48 57 86 33 92

Ordenação Rápida

- dois vetores menores para ordenar:
  - valores menores que 25:

    (0-0) 12

    - vetor já está ordenado pois possui apenas um elemento
  - valores maiores que 25:

    (2-7) 37 48 57 86 33 92

    - vetor pode ser ordenado de forma semelhante, com 37 como pivô

```
void rapida (int n, int* v){
   if (n > 1) {
      int x = v[0];
      int a = 1;
      int b = n-1;
      do {
         while (a < n && v[a] <= x) a++; /* teste a<n */
         while (v[b] > x) b--;           /* nao testa */
         if (a < b) {              /* faz troca */
            int temp = v[a];
            v[a] = v[b];
            v[b] = temp;
            a++; b--;
         }
      } while (a <= b);
      /* troca pivô */
      v[0] = v[b];
      v[b] = x;

      /* ordena sub-vetores restantes */
      rapida(b,v);
      rapida(n-a,&v[a]);
   }
}
```

Construindo funções genéricas para que elas manipulem qualquer tipo de dado na entrada

Ordenação Bolha

- Algoritmo genérico (I):
  - independente dos dados armazenados no vetor
  - usa uma função auxiliar para comparar elementos

```
/* Função auxiliar de comparação */
static int compara (int a, int b)
{
   if (a > b)
      return 1;
   else
      return 0;
}
```

Ordenação Bolha

```
/* Ordenação bolha (3a. versão) */
void bolha (int n, int* v)
{  int i, j;
   for (i=n-1; i>0; i--) {
       int troca = 0;
       for (j=0; j<i; j++)
            if (compara(v[j],v[j+1])) {
                int temp = v[j]; /* troca */
                v[j] = v[j+1];
                v[j+1] = temp;
                troca = 1;
          }
       if (troca == 0)   /* não houve troca */
          return;
   }
}
```

Ordenação Bolha

- Algoritmo genérico (II):
  - função de ordenação e assinatura da função de comparação independentes do tipo do elemento

  - função de ordenação: `void bolha (int n, void* v, int tam);`

    `v` ponteiro de qualquer tipo (definido como `void*`)

    `tam` tamanho de cada elemento em bytes (para percorrer o vetor)

  - função de comparação: `int compara (void* a, void* b);`

    `a` e `b` dois ponteiros genéricos
    um para cada elemento que se deseja comparar

Ordenação Bolha

- Exemplo de função de comparação:
  - dados do aluno, com nome como chave de comparação

```
/* Dados do aluno */
struct aluno {
   char nome[81];
   char mat[8];
   char turma;
   char email[41];
};

/* função de comparação c/ ponteiros de alunos */
static int compara (void* a, void* b)
{
   Aluno** p1 = (Aluno**) a;
   Aluno** p2 = (Aluno**) b;
   if (strcmp((*p1)->nome,(*p2)->nome) > 0)
      return 1;
   else
      return 0;
}
```

Ordenação Bolha

- Função auxiliar para caminhar no vetor:
  - endereço do elemento **`i = i*tam bytes`**
  - para incrementar o endereço genérico de um determinado número de bytes, é necessário converter o ponteiro para ponteiro para caractere (pois um caractere ocupa um byte)

```
static void* acessa (void* v, int i, int tam)
{
   char* t = (char*)v;
   t += tam*i;
   return (void*)t;
}
```

Ordenação Bolha

- Função auxiliar para realizar a troca:
  - tipo de cada elemento não é conhecido =>
    variável temporária para realizar a troca não pode ser declarada
  - troca dos valores feita byte a byte (ou caractere a caractere)

```
static void troca (void* a, void* b, int tam)
{
   char* v1 = (char*) a;
   char* v2 = (char*) b;
   int i;
   for (i=0; i<tam; i++) {
      char temp = v1[i];
      v1[i] = v2[i];
      v2[i] = temp;
   }
}
```

Ordenação Bolha

- Algoritmo genérico (III):

```
void bolha_gen(int n, void* v, int tam,
                              int(*cmp)(void*,void*));
```

  - não chama uma função de comparação específica
  - recebe como parâmetro uma função *callback* de comparação com a assinatura

```
int cmp (void*, void*);
```

Ordenação Bolha

```
/* Ordenação bolha (genérica) */
void bolha_gen (int n, void* v, int tam,
                                    int(*cmp)(void*,void*))
{
   int i, fim;
   for (fim=n-1; fim>0; fim--) {
       int fez_troca = 0;
       for (i=0; i<fim; i++) {
            void* p1 = acessa(v,i,tam);
            void* p2 = acessa(v,i+1,tam);
            if (cmp(p1,p2)) {
                troca(p1,p2,tam);
                fez_troca = 1;
            }
       }
       if (fez_troca == 0)   /* nao houve troca */
           return;
   }
}
```

Ordenação Rápida

- Quick sort genérico da biblioteca padrão:
  - disponibilizado via a biblioteca *stdlib.h*
  - independe do tipo de dado armazenado no vetor
  - implementação segue os princípios discutidos na implementação do algoritmo de ordenação bolha genérico

Ordenação Rápida

- Protótipo do quick sort da biblioteca padrão:

  void qsort (void *v, int n, int tam, int (*cmp)(const void*, const void*));

  v: ponteiro para o primeiro elemento do vetor
  ponteiro do tipo ponteiro genérico (void*) para acomodar qualquer tipo de elemento do vetor

  n: número de elementos do vetor

  tam: tamanho, em bytes, de cada elemento do vetor

  cmp: ponteiro para a função de comparação

  const: modificador de tipo para garantir que a função não modificará os valores dos elementos (devem ser tratados como constantes)

Ordenação Rápida

- Função de comparação:

  int *nome* (const void*, const void*);

  – definida pelo cliente do quick sort

  – recebe dois ponteiros genéricos (do tipo void*)

    - apontam para os dois elementos a comparar
    - modificador de tipo const garante que a função não modificará os valores dos elementos (devem ser tratados como constantes)

  – deve retornar –1, 0, ou 1, se o primeiro elemento for menor, igual, ou maior que o segundo, respectivamente, de acordo com o critério de ordenação adotado

Ordenação Rápida

- Exemplo 1:
  - ordenação de valores reais

Ordenação Rápida

- Função de comparação para float:
  - os dois ponteiros genéricos passados para a função de comparação representam ponteiros para float

```
/* função de comparação de reais */
static int comp_reais (const void* p1, const void* p2)
{
   /* converte para ponteiros de float */
   float *f1 = (float*)p1;
   float *f2 = (float*)p2;
   /* dados os ponteiros de float, faz a comparação */
   if (*f1 < *f2) return –1;
   else if (*f1 > *f2) return 1;
   else return 0;
}
```

```c
/* Ilustra uso do algoritmo qsort  para vetor de float */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/* função de comparação de reais */
static int comp_reais (const void* p1, const void* p2)
{…}

/* ordenação de um vetor de float */
int main (void)
{
   int i;
   float v[8] = {25.6,48.3,37.7,12.1,57.4,86.6,33.3,92.8};
   qsort(v,8,sizeof(float),comp_reais);
   printf("Vetor ordenado: ");
   for (i=0; i<8; i++)
      printf("%g ",v[i]);
   printf("\n”);
   return 0;
}
```

Ordenação Rápida

- Exemplo 2:
  - vetor de ponteiros para a estrutura aluno
  - chave de ordenação dada pelo nome do aluno

```
/* estrutura representando um aluno*/
struct aluno {
   char nome[81];      /* chave de ordenação */
   char mat[8];
   char turma;
   char email[41];
};
typedef struct aluno Aluno;

Aluno* vet[100];    /* vetor de ponteiros para Aluno */
```

Ordenação Rápida

- Função de comparação
  - os dois ponteiros genéricos passados para a função de comparação representam ponteiros de ponteiros para Aluno
  - função deve tratar uma indireção a mais

```
/* Função de comparação: elemento é do tipo Aluno* */
static int comp_alunos (const void* p1, const void* p2)
{
   /* converte p/ ponteiros de ponteiros de Aluno */
   Aluno **a1 = (Aluno**)p1;
   Aluno **a2 = (Aluno**)p2;

   /* faz a comparação */
   return strcmp((*a1)->nome,(*a2)->nome);
}
```

```
#include <string.h>
 ...
int main( )
{
  Aluno a[5]={ {"Pedro", "0001",'A',"pedro@puc"},
               {"Joao",  "0002",'A',"joao@puc"},
               {"Maria", "0003",'B',"maria@puc"},
               {"Jose",  "0004",'A',"jose@puc"},
               {"Felipe","0005",'A',"felipe@puc"}};

      vet[0]=&a[0]; vet[1]=&a[1]; vet[2]=&a[2];
      vet[3]=&a[3]; vet[4]=&a[4];

    show_vet(5,vet);

    qsort(vet,5,sizeof(Aluno*),comp_alunos);

    show_vet(5,vet);
    return 1;
}
```

```
#include <string.h>
 ...
int main( )
{
  Aluno a[5]={ {"Pedro", "0001",'A',"pedro@puc"},
               {"Joao",  "0002",'A',"joao@puc"},
               {"Maria", "0003",'B',"maria@puc"},
               {"Jose",  "0004
               {"Felipe","0005

     vet[0]=&a[0]; vet[1]=&a[
     vet[3]=&a[3]; vet[4]=&a[

    show_vet(5,vet);

    qsort(vet,5,sizeof(Aluno*)

    show_vet(5,vet);
    return 1;
}
```

```
Alunos:
Pedro, 0001, A, pedro@puc
Joao, 0002, A, joao@puc
Maria, 0003, B, maria@puc
Jose, 0004, A, jose@puc
Felipe, 0005, A, felipe@puc

Alunos:
Felipe, 0005, A, felipe@puc
Joao, 0002, A, joao@puc
Jose, 0004, A, jose@puc
Maria, 0003, B, maria@puc
Pedro, 0001, A, pedro@puc

Press any key to continue
```

Resumo

- Bubble sort
  - quando dois elementos estão fora de ordem,
    troque-os de posição até que o i-ésimo elemento de maior valor do vetor seja levado para as posições finais do vetor
  - continue o processo até que todo o vetor esteja ordenado
- Quick sort
  - coloque um elemento arbitrário x, o *pivô,* em sua posição k
  - chame recursivamente o algoritmo para ordenar os (sub-)vetores
    v[0], … v[k-1] e v[k+1], …, v[n-1]
  - continue até que os vetores que devem ser ordenados
    tenham 0 ou 1 elemento
- Quick sort genérico da biblioteca padrão:
  - disponibilizado via *stdlib.h*, com protótipo

    void qsort (void *v, int n, int tam, int (*cmp)(const void*, const void*))