Uso avançado de ponteiros

Aula 15

Diego Padilha Rubert

Faculdade de Computação
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Algoritmos e Programação II

Conteúdo da aula

Introdução

- já vimos formas importantes de uso de ponteiros como parâmetros de funções simulando passagem por referência e também como elementos da linguagem C que podem acessar indiretamente outros compartimentos de memória, seja uma variável, uma célula de um vetor ou de uma matriz ou ainda um campo de um registro, usando, inclusive uma aritmética específica para tanto
- nesta aula veremos outros usos para ponteiros: como auxiliares na alocação dinâmica de espaços de memória, como ponteiros para funções e como ponteiros para outros ponteiros

Introdução

- já vimos formas importantes de uso de ponteiros como parâmetros de funções simulando passagem por referência e também como elementos da linguagem C que podem acessar indiretamente outros compartimentos de memória, seja uma variável, uma célula de um vetor ou de uma matriz ou ainda um campo de um registro, usando, inclusive uma aritmética específica para tanto
- nesta aula veremos outros usos para ponteiros: como auxiliares na alocação dinâmica de espaços de memória, como ponteiros para funções e como ponteiros para outros ponteiros

Alocação dinâmica de memória

- estruturas de armazenamento de informações na memória principal da linguagem C têm, em geral, tamanho fixo
- para alterar a capacidade de armazenamento de uma estrutura de tamanho fixo, é necessário alterar seu tamanho no arquivo-fonte e compilar esse programa novamente
- a linguagem C permite **alocação dinâmica de memória**, que é a habilidade de reservar espaços na memória principal durante a execução de um programa
- dessa forma, podemos projetar estruturas de armazenamento que crescem ou diminuem quando necessário durante a execução do programa
- a alocação dinâmica é usada em geral com variáveis compostas homogêneas e heterogêneas

Alocação dinâmica de memória

- estruturas de armazenamento de informações na memória principal da linguagem C têm, em geral, tamanho fixo
- para alterar a capacidade de armazenamento de uma estrutura de tamanho fixo, é necessário alterar seu tamanho no arquivo-fonte e compilar esse programa novamente
- a linguagem C permite **alocação dinâmica de memória**, que é a habilidade de reservar espaços na memória principal durante a execução de um programa
- dessa forma, podemos projetar estruturas de armazenamento que crescem ou diminuem quando necessário durante a execução do programa
- a alocação dinâmica é usada em geral com variáveis compostas homogêneas e heterogêneas

Alocação dinâmica de memória

- estruturas de armazenamento de informações na memória principal da linguagem C têm, em geral, tamanho fixo
- para alterar a capacidade de armazenamento de uma estrutura de tamanho fixo, é necessário alterar seu tamanho no arquivo-fonte e compilar esse programa novamente
- a linguagem C permite **alocação dinâmica de memória**, que é a habilidade de reservar espaços na memória principal durante a execução de um programa
- dessa forma, podemos projetar estruturas de armazenamento que crescem ou diminuem quando necessário durante a execução do programa
- a alocação dinâmica é usada em geral com variáveis compostas homogêneas e heterogêneas

Alocação dinâmica de memória

- estruturas de armazenamento de informações na memória principal da linguagem C têm, em geral, tamanho fixo
- para alterar a capacidade de armazenamento de uma estrutura de tamanho fixo, é necessário alterar seu tamanho no arquivo-fonte e compilar esse programa novamente
- a linguagem C permite **alocação dinâmica de memória**, que é a habilidade de reservar espaços na memória principal durante a execução de um programa
- dessa forma, podemos projetar estruturas de armazenamento que crescem ou diminuem quando necessário durante a execução do programa
- a alocação dinâmica é usada em geral com variáveis compostas homogêneas e heterogêneas

Alocação dinâmica de memória

- estruturas de armazenamento de informações na memória principal da linguagem C têm, em geral, tamanho fixo
- para alterar a capacidade de armazenamento de uma estrutura de tamanho fixo, é necessário alterar seu tamanho no arquivo-fonte e compilar esse programa novamente
- a linguagem C permite **alocação dinâmica de memória**, que é a habilidade de reservar espaços na memória principal durante a execução de um programa
- dessa forma, podemos projetar estruturas de armazenamento que crescem ou diminuem quando necessário durante a execução do programa
- a alocação dinâmica é usada em geral com variáveis compostas homogêneas e heterogêneas

Alocação dinâmica de memória

- para que os dados de entrada sejam armazenados em vetores e matrizes com dimensão(ões) adequadas, é necessário saber antes essa(s) dimensão(ões)
- um limitante que indica a capacidade máxima de armazenamento dessas estruturas deve ser informado e, muitas vezes, o total de espaço alocado na memória não é usado durante a execução do programa
- **alocação estática de memória**: antes da execução, o compilador reserva na memória um número fixo de compartimentos correspondentes à declaração (espaço é fixo e não pode ser alterado durante a execução do programa)
- memória é um recurso limitado e programas maiores que armazenam muitas informações em memória têm de usá-la de maneira eficiente, economizando compartimentos sempre que possível

Alocação dinâmica de memória

- para que os dados de entrada sejam armazenados em vetores e matrizes com dimensão(ões) adequadas, é necessário saber antes essa(s) dimensão(ões)
- um limitante que indica a capacidade máxima de armazenamento dessas estruturas deve ser informado e, muitas vezes, o total de espaço alocado na memória não é usado durante a execução do programa
- **alocação estática de memória**: antes da execução, o compilador reserva na memória um número fixo de compartimentos correspondentes à declaração (espaço é fixo e não pode ser alterado durante a execução do programa)
- memória é um recurso limitado e programas maiores que armazenam muitas informações em memória têm de usá-la de maneira eficiente, economizando compartimentos sempre que possível

Alocação dinâmica de memória

- para que os dados de entrada sejam armazenados em vetores e matrizes com dimensão(ões) adequadas, é necessário saber antes essa(s) dimensão(ões)
- um limitante que indica a capacidade máxima de armazenamento dessas estruturas deve ser informado e, muitas vezes, o total de espaço alocado na memória não é usado durante a execução do programa
- **alocação estática de memória**: antes da execução, o compilador reserva na memória um número fixo de compartimentos correspondentes à declaração (espaço é fixo e não pode ser alterado durante a execução do programa)
- memória é um recurso limitado e programas maiores que armazenam muitas informações em memória têm de usá-la de maneira eficiente, economizando compartimentos sempre que possível

Alocação dinâmica de memória

- para que os dados de entrada sejam armazenados em vetores e matrizes com dimensão(ões) adequadas, é necessário saber antes essa(s) dimensão(ões)
- um limitante que indica a capacidade máxima de armazenamento dessas estruturas deve ser informado e, muitas vezes, o total de espaço alocado na memória não é usado durante a execução do programa
- **alocação estática de memória**: antes da execução, o compilador reserva na memória um número fixo de compartimentos correspondentes à declaração (espaço é fixo e não pode ser alterado durante a execução do programa)
- memória é um recurso limitado e programas maiores que armazenam muitas informações em memória têm de usá-la de maneira eficiente, economizando compartimentos sempre que possível

Alocação dinâmica de memória

- é possível alocar dinamicamente um ou mais blocos de memória na linguagem C
- **alocação dinâmica de memória** significa que um programa solicita ao sistema computacional, durante a sua execução, blocos da memória principal que estejam disponíveis para uso

Alocação dinâmica de memória

- é possível alocar dinamicamente um ou mais blocos de memória na linguagem C
- **alocação dinâmica de memória** significa que um programa solicita ao sistema computacional, durante a sua execução, blocos da memória principal que estejam disponíveis para uso

Alocação dinâmica de memória

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void)
{
   int i, n, *vetor, *pt;

   scanf("%d", &n);
   vetor = (int *) malloc(n * sizeof(int));
   if (vetor != NULL) {
      for (i = 0; i < n; i++)
         scanf("%d", (vetor + i));
      for (pt = vetor; pt < (vetor + n); pt++)
         printf("%d ", *pt);
      printf("\n");
      for (i = n - 1; i >= 0; i--)
         printf("%d ", vetor[i]);
      printf("\n");
   }
   else
      printf("Impossível alocar espaço\n");
   return 0;
```

Alocação dinâmica de memória

- a função `malloc`, declarada no arquivo-cabeçalho `stdlib.h`, tem a seguinte interface:

```
void *malloc(size_t tamanho)
```

- a função `malloc` reserva uma certa quantidade específica de memória e devolve um ponteiro do tipo `void`
- no programa anterior, reservamos n compartimentos contínuos que podem armazenar números inteiros, o que se reflete na expressão `n * sizeof(int)`
- o operador unário `sizeof` devolve como resultado o número de bytes dados pelo seu operando, que pode ser um tipo de dados ou uma expressão
- esse número é multiplicado por n, o número de compartimentos que desejamos para armazenar números inteiros

Alocação dinâmica de memória

- a função `malloc`, declarada no arquivo-cabeçalho `stdlib.h`, tem a seguinte interface:

```
void *malloc(size_t tamanho)
```

- a função `malloc` reserva uma certa quantidade específica de memória e devolve um ponteiro do tipo `void`
- no programa anterior, reservamos n compartimentos contínuos que podem armazenar números inteiros, o que se reflete na expressão `n * sizeof(int)`
- o operador unário `sizeof` devolve como resultado o número de bytes dados pelo seu operando, que pode ser um tipo de dados ou uma expressão
- esse número é multiplicado por n, o número de compartimentos que desejamos para armazenar números inteiros

Alocação dinâmica de memória

- a função `malloc`, declarada no arquivo-cabeçalho `stdlib.h`, tem a seguinte interface:

```
void *malloc(size_t tamanho)
```

- a função `malloc` reserva uma certa quantidade específica de memória e devolve um ponteiro do tipo `void`
- no programa anterior, reservamos n compartimentos contínuos que podem armazenar números inteiros, o que se reflete na expressão `n * sizeof(int)`
- o operador unário `sizeof` devolve como resultado o número de bytes dados pelo seu operando, que pode ser um tipo de dados ou uma expressão
- esse número é multiplicado por n, o número de compartimentos que desejamos para armazenar números inteiros

Alocação dinâmica de memória

- a função `malloc`, declarada no arquivo-cabeçalho `stdlib.h`, tem a seguinte interface:

```
void *malloc(size_t tamanho)
```

- a função `malloc` reserva uma certa quantidade específica de memória e devolve um ponteiro do tipo `void`
- no programa anterior, reservamos n compartimentos contínuos que podem armazenar números inteiros, o que se reflete na expressão `n * sizeof(int)`
- o operador unário `sizeof` devolve como resultado o número de bytes dados pelo seu operando, que pode ser um tipo de dados ou uma expressão
- esse número é multiplicado por n, o número de compartimentos que desejamos para armazenar números inteiros

Alocação dinâmica de memória

- a função `malloc`, declarada no arquivo-cabeçalho `stdlib.h`, tem a seguinte interface:

```
void *malloc(size_t tamanho)
```

- a função `malloc` reserva uma certa quantidade específica de memória e devolve um ponteiro do tipo `void`
- no programa anterior, reservamos n compartimentos contínuos que podem armazenar números inteiros, o que se reflete na expressão `n * sizeof(int)`
- o operador unário `sizeof` devolve como resultado o número de bytes dados pelo seu operando, que pode ser um tipo de dados ou uma expressão
- esse número é multiplicado por n, o número de compartimentos que desejamos para armazenar números inteiros

Alocação dinâmica de memória

- o endereço da primeira posição de memória onde encontram-se esses compartimentos é devolvido pela função `malloc`
- essa função devolve um ponteiro do tipo `void` e, por isso, usamos o modificador de tipo `(int *)` para indicar que o endereço devolvido é de fato um ponteiro para um número inteiro
- depois, esse endereço é armazenado em `vetor`, que foi declarado como um ponteiro para números inteiros
- a partir daí, podemos usar `vetor` da forma como preferirmos, como um ponteiro ou como um vetor

Alocação dinâmica de memória

- o endereço da primeira posição de memória onde encontram-se esses compartimentos é devolvido pela função `malloc`
- essa função devolve um ponteiro do tipo `void` e, por isso, usamos o modificador de tipo `(int *)` para indicar que o endereço devolvido é de fato um ponteiro para um número inteiro
- depois, esse endereço é armazenado em `vetor`, que foi declarado como um ponteiro para números inteiros
- a partir daí, podemos usar `vetor` da forma como preferirmos, como um ponteiro ou como um vetor

Alocação dinâmica de memória

- o endereço da primeira posição de memória onde encontram-se esses compartimentos é devolvido pela função `malloc`
- essa função devolve um ponteiro do tipo `void` e, por isso, usamos o modificador de tipo `(int *)` para indicar que o endereço devolvido é de fato um ponteiro para um número inteiro
- depois, esse endereço é armazenado em `vetor`, que foi declarado como um ponteiro para números inteiros
- a partir daí, podemos usar `vetor` da forma como preferirmos, como um ponteiro ou como um vetor

Alocação dinâmica de memória

- o endereço da primeira posição de memória onde encontram-se esses compartimentos é devolvido pela função `malloc`
- essa função devolve um ponteiro do tipo `void` e, por isso, usamos o modificador de tipo `(int *)` para indicar que o endereço devolvido é de fato um ponteiro para um número inteiro
- depois, esse endereço é armazenado em `vetor`, que foi declarado como um ponteiro para números inteiros
- a partir daí, podemos usar `vetor` da forma como preferirmos, como um ponteiro ou como um vetor

Alocação dinâmica de memória

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(void)
{
   int i, j, m, n, **matriz, **pt;
   scanf("%d%d", &m, &n);
   matriz = (int **) malloc(m * sizeof(int *));
   if (matriz == NULL)
      return 0;
   for (pt = matriz, i = 0; i < m; i++, pt++) {
      *pt = (int *) malloc(n * sizeof(int));
      if (*pt == NULL)
         return 0; }
   for (i = 0; i < m; i++)
      for (j = 0; j < n; j++)
         scanf("%d", &matriz[i][j]);
   pt = matriz;
   for (i = 0; i < m; i++) {
      for (j = 0; j < n; j++)
         printf("%d ", *(*(pt+i)+j));
      printf("\n"); }
   return 0;
```

Alocação dinâmica de memória

- funções `malloc`, `calloc` e `realloc` solicitam blocos de memória de um espaço de armazenamento conhecido também como ***heap*** ou ainda **lista de espaços disponíveis**
- a chamada frequente dessas funções pode exaurir o *heap* do sistema, fazendo com que essas funções devolvam um ponteiro nulo
- pior ainda, um programa pode alocar blocos de memória e perdê-los de algum modo, gastando espaço desnecessário

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
p = q;
```

- a função `free` é usada para ajudar a resolver o problema de geração de lixo na memória durante a execução de programas

Alocação dinâmica de memória

- funções `malloc`, `calloc` e `realloc` solicitam blocos de memória de um espaço de armazenamento conhecido também como ***heap*** ou ainda **lista de espaços disponíveis**
- a chamada frequente dessas funções pode exaurir o *heap* do sistema, fazendo com que essas funções devolvam um ponteiro nulo
- pior ainda, um programa pode alocar blocos de memória e perdê-los de algum modo, gastando espaço desnecessário

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
p = q;
```

- a função `free` é usada para ajudar a resolver o problema de geração de lixo na memória durante a execução de programas

Alocação dinâmica de memória

- funções `malloc`, `calloc` e `realloc` solicitam blocos de memória de um espaço de armazenamento conhecido também como ***heap*** ou ainda **lista de espaços disponíveis**
- a chamada frequente dessas funções pode exaurir o *heap* do sistema, fazendo com que essas funções devolvam um ponteiro nulo
- pior ainda, um programa pode alocar blocos de memória e perdê-los de algum modo, gastando espaço desnecessário

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
p = q;
```

- a função `free` é usada para ajudar a resolver o problema de geração de lixo na memória durante a execução de programas

Alocação dinâmica de memória

- funções `malloc`, `calloc` e `realloc` solicitam blocos de memória de um espaço de armazenamento conhecido também como ***heap*** ou ainda **lista de espaços disponíveis**
- a chamada frequente dessas funções pode exaurir o *heap* do sistema, fazendo com que essas funções devolvam um ponteiro nulo
- pior ainda, um programa pode alocar blocos de memória e perdê-los de algum modo, gastando espaço desnecessário

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
p = q;
```

- a função `free` é usada para ajudar a resolver o problema de geração de lixo na memória durante a execução de programas

Alocação dinâmica de memória

- a função `free` tem a seguinte interface:

```
void free(void *pt)
```

- devemos lhe passar à função `free` um ponteiro para um bloco de memória que não mais necessitamos:

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
free(p);
p = q;
```

- uma chamada à função `free` devolve o bloco de memória apontado por p para o *heap*
- o argumento da função `free` deve ser um ponteiro que foi previamente devolvido por uma função de alocação de memória

Alocação dinâmica de memória

- a função `free` tem a seguinte interface:

```
void free(void *pt)
```

- devemos lhe passar à função `free` um ponteiro para um bloco de memória que não mais necessitamos:

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
free(p);
p = q;
```

- uma chamada à função `free` devolve o bloco de memória apontado por p para o *heap*
- o argumento da função `free` deve ser um ponteiro que foi previamente devolvido por uma função de alocação de memória

Alocação dinâmica de memória

- a função `free` tem a seguinte interface:

```
void free(void *pt)
```

- devemos lhe passar à função `free` um ponteiro para um bloco de memória que não mais necessitamos:

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
free(p);
p = q;
```

- uma chamada à função `free` devolve o bloco de memória apontado por p para o *heap*
- o argumento da função `free` deve ser um ponteiro que foi previamente devolvido por uma função de alocação de memória

Alocação dinâmica de memória

- a função `free` tem a seguinte interface:

```
void free(void *pt)
```

- devemos lhe passar à função `free` um ponteiro para um bloco de memória que não mais necessitamos:

```
p = malloc(...);
q = malloc(...);
free(p);
p = q;
```

- uma chamada à função `free` devolve o bloco de memória apontado por p para o *heap*
- o argumento da função `free` deve ser um ponteiro que foi previamente devolvido por uma função de alocação de memória

Ponteiros para ponteiros

- uma variável que é um ponteiro para um compartimento de memória que contém um outro ponteiro é chamada de **ponteiro para um ponteiro**
- podemos estender indireções com a multiplicidade que desejarmos como, por exemplo, indireção dupla, indireção tripla, indireção quádrupla
- ponteiros para ponteiros têm diversas aplicações na linguagem C, especialmente no uso de matrizes

Ponteiros para ponteiros

- uma variável que é um ponteiro para um compartimento de memória que contém um outro ponteiro é chamada de **ponteiro para um ponteiro**
- podemos estender indireções com a multiplicidade que desejarmos como, por exemplo, indireção dupla, indireção tripla, indireção quádrupla
- ponteiros para ponteiros têm diversas aplicações na linguagem C, especialmente no uso de matrizes

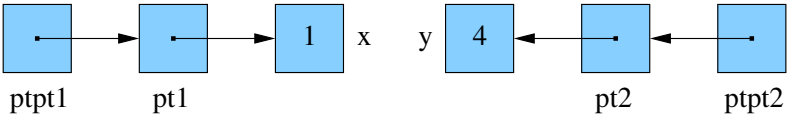
Ponteiros para ponteiros

- uma variável que é um ponteiro para um compartimento de memória que contém um outro ponteiro é chamada de **ponteiro para um ponteiro**
- podemos estender indireções com a multiplicidade que desejarmos como, por exemplo, indireção dupla, indireção tripla, indireção quádrupla
- ponteiros para ponteiros têm diversas aplicações na linguagem C, especialmente no uso de matrizes

Ponteiros para ponteiros

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
   int x, y, *pt1, *pt2, **ptpt1, **ptpt2;

   x = 1;
   y = 4;
   printf("x=%d y=%d\n", x, y);

   pt1 = &x;
   pt2 = &y;
   printf("*pt1=%d *pt2=%d\n", *pt1, *pt2);

   ptpt1 = &pt1;
   ptpt2 = &pt2;
   printf("**ptpt1=%d **ptpt2=%d\n", **ptpt1, **ptpt2);

   return 0;
}
```

Ponteiros para ponteiros



Ponteiros para funções

- a linguagem C não requer que ponteiros contenham apenas endereços de dados
- é possível, em um programa, ter ponteiros para funções, já que as funções ocupam posições de memória e, por isso, possuem um endereço na memória, assim como todas as variáveis
- podemos usar ponteiros para funções assim como usamos ponteiros para variáveis
- passar um ponteiro para uma função como um argumento de outra função é bastante comum na linguagem C

Ponteiros para funções

- a linguagem C não requer que ponteiros contenham apenas endereços de dados
- é possível, em um programa, ter ponteiros para funções, já que as funções ocupam posições de memória e, por isso, possuem um endereço na memória, assim como todas as variáveis
- podemos usar ponteiros para funções assim como usamos ponteiros para variáveis
- passar um ponteiro para uma função como um argumento de outra função é bastante comum na linguagem C

Ponteiros para funções

- a linguagem C não requer que ponteiros contenham apenas endereços de dados
- é possível, em um programa, ter ponteiros para funções, já que as funções ocupam posições de memória e, por isso, possuem um endereço na memória, assim como todas as variáveis
- podemos usar ponteiros para funções assim como usamos ponteiros para variáveis
- passar um ponteiro para uma função como um argumento de outra função é bastante comum na linguagem C

Ponteiros para funções

- a linguagem C não requer que ponteiros contenham apenas endereços de dados
- é possível, em um programa, ter ponteiros para funções, já que as funções ocupam posições de memória e, por isso, possuem um endereço na memória, assim como todas as variáveis
- podemos usar ponteiros para funções assim como usamos ponteiros para variáveis
- passar um ponteiro para uma função como um argumento de outra função é bastante comum na linguagem C

Ponteiros para funções

- suponha que estamos escrevendo a função `integral` que integra uma função matemática `f` entre os pontos `a` e `b`
- queremos fazer a função `integral` tão geral quanto possível, passando a função `f` como um argumento seu
- isso é possível na linguagem C pela definição de `f` como um ponteiro para uma função

```
double integral(double (*f)(double), double a, double b)
```

- os parênteses em torno de `*f` indicam que `f` é um ponteiro para uma função, não uma função que devolve um ponteiro

Ponteiros para funções

- suponha que estamos escrevendo a função `integral` que integra uma função matemática `f` entre os pontos `a` e `b`
- queremos fazer a função `integral` tão geral quanto possível, passando a função `f` como um argumento seu
- isso é possível na linguagem C pela definição de `f` como um ponteiro para uma função

```
double integral(double (*f)(double), double a, double b)
```

- os parênteses em torno de `*f` indicam que `f` é um ponteiro para uma função, não uma função que devolve um ponteiro

Ponteiros para funções

- suponha que estamos escrevendo a função `integral` que integra uma função matemática `f` entre os pontos `a` e `b`
- queremos fazer a função `integral` tão geral quanto possível, passando a função `f` como um argumento seu
- isso é possível na linguagem C pela definição de `f` como um ponteiro para uma função

```
double integral(double (*f)(double), double a, double b)
```

- os parênteses em torno de `*f` indicam que `f` é um ponteiro para uma função, não uma função que devolve um ponteiro

Ponteiros para funções

- suponha que estamos escrevendo a função `integral` que integra uma função matemática `f` entre os pontos `a` e `b`
- queremos fazer a função `integral` tão geral quanto possível, passando a função `f` como um argumento seu
- isso é possível na linguagem C pela definição de `f` como um ponteiro para uma função

```
double integral(double (*f)(double), double a, double b)
```

- os parênteses em torno de `*f` indicam que `f` é um ponteiro para uma função, não uma função que devolve um ponteiro

Ponteiros para funções

- também é permitido definir `f` como se fosse uma função:

```
double integral(double f(double), double a, double b)
```

- do ponto de vista do compilador, as interfaces acima são idênticas
- quando chamamos a função `integral` devemos fornecer um nome de uma função como primeiro argumento:

```
result = integral(sin, 0.0, PI / 2);
```

- o argumento `sin` e o nome da função seno incluída em `math.h`
- observe que não há parênteses após `sin`

Ponteiros para funções

- também é permitido definir `f` como se fosse uma função:

```
double integral(double f(double), double a, double b)
```

- do ponto de vista do compilador, as interfaces acima são idênticas
- quando chamamos a função `integral` devemos fornecer um nome de uma função como primeiro argumento:

```
result = integral(sin, 0.0, PI / 2);
```

- o argumento `sin` e o nome da função seno incluída em `math.h`
- observe que não há parênteses após `sin`

Ponteiros para funções

- também é permitido definir `f` como se fosse uma função:

```
double integral(double f(double), double a, double b)
```

- do ponto de vista do compilador, as interfaces acima são idênticas
- quando chamamos a função `integral` devemos fornecer um nome de uma função como primeiro argumento:

```
result = integral(sin, 0.0, PI / 2);
```

- o argumento `sin` e o nome da função seno incluída em `math.h`
- observe que não há parênteses após `sin`

Ponteiros para funções

- também é permitido definir `f` como se fosse uma função:

```
double integral(double f(double), double a, double b)
```

- do ponto de vista do compilador, as interfaces acima são idênticas
- quando chamamos a função `integral` devemos fornecer um nome de uma função como primeiro argumento:

```
result = integral(sin, 0.0, PI / 2);
```

- o argumento `sin` e o nome da função seno incluída em `math.h`
- observe que não há parênteses após `sin`

Ponteiros para funções

- também é permitido definir `f` como se fosse uma função:

```
double integral(double f(double), double a, double b)
```

- do ponto de vista do compilador, as interfaces acima são idênticas
- quando chamamos a função `integral` devemos fornecer um nome de uma função como primeiro argumento:

```
result = integral(sin, 0.0, PI / 2);
```

- o argumento `sin` e o nome da função seno incluída em `math.h`
- observe que não há parênteses após `sin`

Ponteiros para funções

- quando o nome de uma função não é seguido por parênteses, o compilador produz um ponteiro para a função em vez de gerar código para uma chamada da função
- no exemplo do programa, não há uma chamada à função `sin`
- ao invés disso, estamos passando para a função `integral` um ponteiro para a função `sin`
- podemos pensar em ponteiros para funções como pensamos com ponteiros para vetores e matrizes: se `f` é o identificador de uma função, a linguagem C trata `f(x)` como uma chamada da função, mas trata `f` como um ponteiro para a função

Ponteiros para funções

- quando o nome de uma função não é seguido por parênteses, o compilador produz um ponteiro para a função em vez de gerar código para uma chamada da função
- no exemplo do programa, não há uma chamada à função `sin`
- ao invés disso, estamos passando para a função `integral` um ponteiro para a função `sin`
- podemos pensar em ponteiros para funções como pensamos com ponteiros para vetores e matrizes: se `f` é o identificador de uma função, a linguagem C trata `f(x)` como uma chamada da função, mas trata `f` como um ponteiro para a função

Ponteiros para funções

- quando o nome de uma função não é seguido por parênteses, o compilador produz um ponteiro para a função em vez de gerar código para uma chamada da função
- no exemplo do programa, não há uma chamada à função `sin`
- ao invés disso, estamos passando para a função `integral` um ponteiro para a função `sin`
- podemos pensar em ponteiros para funções como pensamos com ponteiros para vetores e matrizes: se `f` é o identificador de uma função, a linguagem C trata `f(x)` como uma chamada da função, mas trata `f` como um ponteiro para a função

Ponteiros para funções

- quando o nome de uma função não é seguido por parênteses, o compilador produz um ponteiro para a função em vez de gerar código para uma chamada da função
- no exemplo do programa, não há uma chamada à função `sin`
- ao invés disso, estamos passando para a função `integral` um ponteiro para a função `sin`
- podemos pensar em ponteiros para funções como pensamos com ponteiros para vetores e matrizes: se `f` é o identificador de uma função, a linguagem C trata `f(x)` como uma chamada da função, mas trata `f` como um ponteiro para a função

Ponteiros para funções

- dentro do corpo da função `integral` podemos chamar a função apontada por `f`:

```
y = (*f)(x);
```

- nessa chamada, `*f` representa a função apontada por `f` e `x` é o argumento dessa chamada
- durante a execução da chamada `integral(sin, 0.0, PI / 2)`, cada chamada de `*f` é, na verdade, uma chamada de `sin`

Ponteiros para funções

- dentro do corpo da função `integral` podemos chamar a função apontada por `f`:

```
y = (*f)(x);
```

- nessa chamada, `*f` representa a função apontada por `f` e `x` é o argumento dessa chamada
- durante a execução da chamada `integral(sin, 0.0, PI / 2)`, cada chamada de `*f` é, na verdade, uma chamada de `sin`

Ponteiros para funções

- dentro do corpo da função `integral` podemos chamar a função apontada por `f`:

```
y = (*f)(x);
```

- nessa chamada, `*f` representa a função apontada por `f` e `x` é o argumento dessa chamada
- durante a execução da chamada `integral(sin, 0.0, PI / 2)`, cada chamada de `*f` é, na verdade, uma chamada de `sin`

Ponteiros para funções

- podemos armazenar ponteiros para funções em variáveis ou usá-los como elementos de um vetor, matriz, campo de registro:

```
void (*ptf)(int);
```

- `ptf` pode apontar para qualquer função que tenha um único parâmetro do tipo `int` e que devolva um valor do tipo `void`
- se `f` é uma função com essas características, podemos fazer `ptf` apontar para `f`:

```
ptf = f;
```

- uma vez que `ptf` aponta para `f`, podemos chamar `f` indiretamente através de `ptf`:

```
(*ptf)(i);
```

- podemos escrever funções que devolvem ponteiros para funções

Ponteiros para funções

- podemos armazenar ponteiros para funções em variáveis ou usá-los como elementos de um vetor, matriz, campo de registro:

```
void (*ptf)(int);
```

- `ptf` pode apontar para qualquer função que tenha um único parâmetro do tipo `int` e que devolva um valor do tipo `void`
- se `f` é uma função com essas características, podemos fazer `ptf` apontar para `f`:

```
ptf = f;
```

- uma vez que `ptf` aponta para `f`, podemos chamar `f` indiretamente através de `ptf`:

```
(*ptf)(i);
```

- podemos escrever funções que devolvem ponteiros para funções

Ponteiros para funções

- podemos armazenar ponteiros para funções em variáveis ou usá-los como elementos de um vetor, matriz, campo de registro:

```
void (*ptf)(int);
```

- `ptf` pode apontar para qualquer função que tenha um único parâmetro do tipo `int` e que devolva um valor do tipo `void`
- se `f` é uma função com essas características, podemos fazer `ptf` apontar para `f`:

```
ptf = f;
```

- uma vez que `ptf` aponta para `f`, podemos chamar `f` indiretamente através de `ptf`:

```
(*ptf)(i);
```

- podemos escrever funções que devolvem ponteiros para funções

Ponteiros para funções

- podemos armazenar ponteiros para funções em variáveis ou usá-los como elementos de um vetor, matriz, campo de registro:

```
void (*ptf)(int);
```

- `ptf` pode apontar para qualquer função que tenha um único parâmetro do tipo `int` e que devolva um valor do tipo `void`
- se `f` é uma função com essas características, podemos fazer `ptf` apontar para `f`:

```
ptf = f;
```

- uma vez que `ptf` aponta para `f`, podemos chamar `f` indiretamente através de `ptf`:

```
(*ptf)(i);
```

- podemos escrever funções que devolvem ponteiros para funções

Ponteiros para funções

- podemos armazenar ponteiros para funções em variáveis ou usá-los como elementos de um vetor, matriz, campo de registro:

```
void (*ptf)(int);
```

- `ptf` pode apontar para qualquer função que tenha um único parâmetro do tipo `int` e que devolva um valor do tipo `void`
- se `f` é uma função com essas características, podemos fazer `ptf` apontar para `f`:

```
ptf = f;
```

- uma vez que `ptf` aponta para `f`, podemos chamar `f` indiretamente através de `ptf`:

```
(*ptf)(i);
```

- podemos escrever funções que devolvem ponteiros para funções

Ponteiros para funções

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
void tabela(double (*f)(double), double a, double b, double incr)
{
   int i, num_intervalos;
   double x;
   num_intervalos = ceil((b - a) / incr);
   for (i = 0; i <= num_intervalos; i++) {
      x = a + i * incr;
      printf("%11.6f %11.6f\n", x, (*f)(x)); }
}
int main(void)
{
   double inicio, fim, incremento;
   printf("Informe um intervalo [a, b]: ");
   scanf("%lf%lf", &inicio, &fim);
   printf("Informe o incremento: ");
   scanf("%lf", &incremento);
   tabela(cos, inicio, fim, incremento);
   tabela(sin, inicio, fim, incremento);
   tabela(tan, inicio, fim, incremento);
   return 0;
```

Exercícios

1. Dados dois vetores x e y, ambos com n elementos, $1 \leqslant n \leqslant 100$, determinar o produto escalar desses vetores. Use alocação dinâmica de memória.

Exercícios

2. Dizemos que uma sequência de n elementos, com n par, é **balanceada** se as seguintes somas são todas iguais:
   a soma do maior elemento com o menor elemento;
   a soma do segundo maior elemento com o segundo menor elemento;
   a soma do terceiro maior elemento com o terceiro menor elemento;
   e assim por diante . . .

   Exemplo:

   $2\ \ 12\ \ 3\ \ 6\ \ 16\ \ 15$ *é uma sequência balanceada, pois* $16 + 2 = 15 + 3 = 12 + 6$.

   Dados n (n par e $0 \leqslant n \leqslant 100$) e uma sequência de n números inteiros, verificar se essa sequência é balanceada. Use alocação dinâmica de memória.

Exercícios

3. Dada uma cadeia de caracteres com no máximo 100 caracteres, contar a quantidade de letras minúsculas, letras maiúsculas, dígitos, espaços e símbolos de pontuação que essa cadeia possui. Use alocação dinâmica de memória.
4. Dada uma matriz de números reais A com m linhas e n colunas, $1 \leqslant m, n \leqslant 100$, e um vetor de números reais v com n elementos, determinar o produto de A por v. Use alocação dinâmica de memória.

Exercícios

5. Dizemos que uma matriz quadrada de números inteiros distintos é um **quadrado mágico** se a soma dos elementos de cada linha, a soma dos elementos de cada coluna e a soma dos elementos da diagonal principal e secundária são todas iguais. Exemplo:

   A matriz

   $$\begin{pmatrix} 8 & 0 & 7 \\ 4 & 5 & 6 \\ 3 & 10 & 2 \end{pmatrix}$$

   é um quadrado mágico.

   Dada uma matriz quadrada de números inteiros $A_{n \times n}$, com $1 \leqslant n \leqslant 100$, verificar se A é um quadrado mágico. Use alocação dinâmica de memória.

Exercícios

6. Simule a execução do programa a seguir.

```
#include <stdio.h>

int f1(int (*f)(int))
{
   int n = 0;
   while ((*f)(n))
      n++;
   return n;
}

int f2(int i)
{
   return i * i + i - 12;
}

int main(void)
{
   printf("Resposta: %d\n", f1(f2));
   return 0;
}
```

Exercícios

7. Escreva uma função com a seguinte interface:

```
int soma(int (*f)(int), int inicio, int fim)
```

Uma chamada `soma(g, i, j)` deve devolver `g(i) + ... + g(j)`.