MC-202
Curso de C — Parte 4

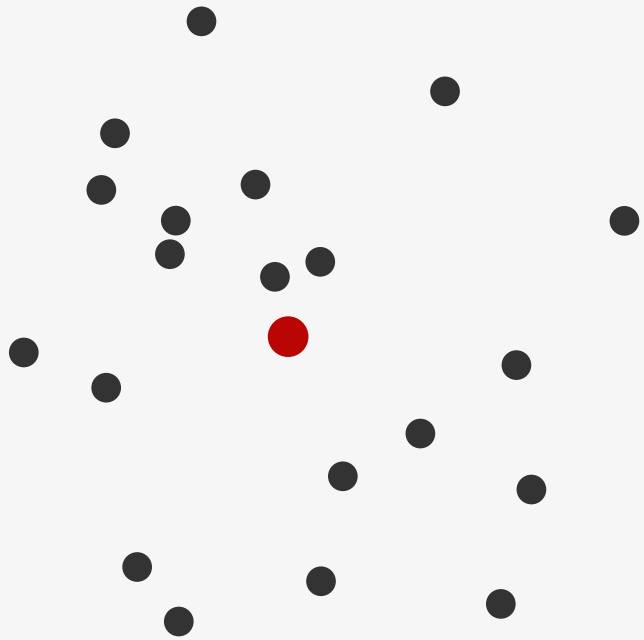
Lehilton Pedrosa
lehilton@ic.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas

Segundo semestre de 2024

Exercício

Dado um conjunto de pontos do plano, como calcular o centroide?



```c
#include <stdio.h>
#define MAX 100

int main() {
  double x[MAX], y[MAX];
  double cx, cy;
  int i, n;
  scanf("%d", &n);
  for (i = 0; i < n; i++)
    scanf("%lf %lf", &x[i], &y[i]);
  cx = cy = 0;
  for (i = 0; i < n; i++) {
    cx += x[i] / n;
    cy += y[i] / n;
  }
  printf("%lf %lf\n", cx, cy);
  return 0;
}
```

E se tivéssemos mais dimensões?

- Precisaríamos de um vetor para cada dimensão...

Registro

Registro é:

- uma coleção de dados relacionados de vários tipos
- organizadas em uma única estrutura
- e referenciados por um nome comum

Características:

- Cada dado é chamado de membro do registro
- Cada membro é acessado por um nome na estrutura
- Cada estrutura define um novo tipo, com as mesmas características de um tipo padrão da linguagem

Não é uma classe!

- Não tem funções associadas
- C não é Orientada a Objetos como Python

Declaração de estruturas e registros

Declarando uma estrutura com N membros

```
1 struct identificador {
2   tipo1 membro1;
3   tipo2 membro2;
4   ...
5   tipoN membroN;
6 };
```

Declarando um registro:

```
struct identificador nome_registro;
```

Em C:

- Declaramos um tipo de uma estrutura apenas uma vez
- Podemos declarar vários registros da mesma estrutura

Exemplo de estrutura

Ficha de dados cadastrais de um aluno

```
1  struct data {
2    int dia;
3    int mes;
4    int ano;
5  };
6
7  struct ficha_aluno {
8    int ra;
9    int telefone;
10   char nome[30];
11   char endereco[100];
12   struct data nascimento;
13 };
```

Ou seja, podemos ter estruturas aninhadas

Usando um registro

Acessando um membro do registro

- `registro.membro`

Imprimindo o nome de um aluno

```
1 struct ficha_aluno aluno;
2 ...
3 printf("Aluno: %s\n", aluno.nome);
```

Imprimindo o aniversário

```
1 struct ficha_aluno aluno;
2 ...
3 printf("Aniversario: %d/%d\n", aluno.nascimento.dia,
4                                aluno.nascimento.mes);
```

Copiando um aluno

```
1 aluno1 = aluno2;
```

Centroide revisitado

```c
#include <stdio.h>
#define MAX 100

struct ponto {
  double x, y;
};

int main() {
  struct ponto v[MAX], centroide;
  int i, n;
  scanf("%d", &n);
  for (i = 0; i < n; i++)
    scanf("%lf %lf", &v[i].x, &v[i].y);
  centroide.x = 0;
  centroide.y = 0;
  for (i = 0; i < n; i++) {
    centroide.x += v[i].x / n;
    centroide.y += v[i].y / n;
  }
  printf("%lf %lf\n", centroide.x, centroide.y);
  return 0;
}
```

A palavra-chave `typedef`

O `typedef` permite dar um novo nome para um tipo...

Exemplo: `typedef unsigned int u32;`

- Com isso, é possível declarar uma variável: `u32 x;`
- Escrever `unsigned int` ou `u32` é a mesma coisa

Vamos usar o `typedef` para dar nome para a `struct`

```
1 typedef struct identificador {
2   tipo1 membro1;
3   tipo2 membro2;
4   ...
5   tipoN membroN;
6 } novonome;
```

Com isso, ao invés de declarar uma variável dessa forma

- `struct identificador var;`

podemos declarar dessa forma

- `novonome var;`

Números Complexos

Vamos criar um programa que lida com números complexos

- Um número complexo é da forma $a + b\,i$
  - a e b são números reais
  - $i = \sqrt{-1}$ é a unidade imaginária

Queremos somar dois números complexos lidos e calcular o valor absoluto ($\sqrt{a^2 + b^2}$)

```
1  typedef struct {
2    double real;
3    double imag;
4  } complexo;
5
6  int main() {
7    complexo a, b, c;
8    scanf("%lf %lf", &a.real, &a.imag);
9    scanf("%lf %lf", &b.real, &b.imag);
10   c.real = a.real + b.real;
11   c.imag = a.imag + b.imag;
12   printf("%lf\n", sqrt(c.real * c.real + c.imag * c.imag));
13   return 0;
14 }
```

Reflexão

Quando somamos 2 variáveis `float`:

- não nos preocupamos como a operação é feita
  - internamente o float é representado por um número binário
  - Ex: `0.3` é representado como `00111110100110011001100110011010`
- o compilador esconde os detalhes!

E se quisermos lidar com números complexos?

- nos preocupamos com os detalhes

Será que também podemos abstrair um número complexo?

- Sim - usando registros e funções
- Faremos algo que se parece com uma classe

Números Complexos - Usando funções

```
1  complexo complexo_novo(double real, double imag) {
2    complexo c;
3    c.real = real;
4    c.imag = imag;
5    return c;
6  }
7
8  complexo complexo_soma(complexo a, complexo b) {
9    return complexo_novo(a.real + b.real, a.imag + b.imag);
10 }
11
12 complexo complexo_le() {
13   complexo a;
14   scanf("%lf %lf", &a.real, &a.imag);
15   return a;
16 }
```

DRY (Don't Repeat Yourself) vs. WET (Write Everything Twice)

- Funções permitem reutilizar código em vários lugares

Onde a função é usada, só é importante o seu resultado

- Não como o resultado é calculado...

Várias Funções Possíveis

```
1  complexo complexo_novo(double real, double imag);
2
3  complexo complexo_soma(complexo a, complexo b);
4
5  double complexo_absoluto(complexo a);
6
7  complexo complexo_le();
8
9  void complexo_imprime(complexo a);
10
11 int complexos_iguais(complexo a, complexo b);
12
13 complexo complexo_multiplicacao(complexo a, complexo b);
14
15 complexo complexo_conjugado(complexo a);
```

E se quisermos usar números complexos em vários programas?

- basta copiar a struct e as funções...
- e se acharmos um bug ou quisermos mudar algo?
- Esse solução não é DRY...

Ideia

Vamos quebrar o programa em três partes

1. Implementação das funções para os números complexos
   - Definem como calcular soma, absoluto, etc...
   - Chamamos de Implementação
2. Código que utiliza as funções de números complexos
   - Soma dois números complexos sem se importar como
   - Calcula o absoluto sem se importar como
   - mas precisa conhecer o protótipo das funções...
   - Chamamos de Cliente
3. Struct e protótipos das funções para números complexos
   - Define o que o Cliente pode fazer
   - Define o que precisa ser implementado
   - Chamamos de Interface

Interface e Implementação podem ser usadas em outros programas

Tipo Abstrato de Dados

Um TAD é um conjunto de valores associado a um conjunto de operações permitidas nesses dados

- Interface: conjunto de operações de um TAD
  - Consiste dos nomes e demais convenções usadas para executar cada operação
- Implementação: conjunto de algoritmos que realizam as operações
  - A implementação é o único "lugar" que uma variável é acessada diretamente
- Cliente: código que utiliza/chama uma operação
  - O cliente nunca acessa a variável diretamente

Em C:

- um TAD é declarado como uma `struct`
- a interface é um conjunto de protótipos de funções que manipula a `struct`

Números Complexos — Interface

Criamos um arquivo `complexos.h` com a `struct` e os protótipos de função

```
1  typedef struct {
2    double real;
3    double imag;
4  } complexo;
5
6  complexo complexo_novo(double real, double imag);
7
8  complexo complexo_soma(complexo a, complexo b);
9
10 double complexo_absoluto(complexo a);
11
12 complexo complexo_le();
13
14 void complexo_imprime(complexo a);
15
16 int complexos_iguais(complexo a, complexo b);
17
18 complexo complexo_multiplicacao(complexo a, complexo b);
19
20 complexo complexo_conjugado(complexo a);
```

Números Complexos — Implementação

Criamos um arquivo `complexos.c` com as implementações

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include "complexos.h"

complexo complexo_novo(double real, double imag) {
  complexo c;
  c.real = real;
  c.imag = imag;
  return c;
}

complexo complexo_soma(complexo a, complexo b) {
  return complexo_novo(a.real + b.real, a.imag + b.imag);
}

complexo complexo_le() {
  complexo a;
  scanf("%lf %lf", &a.real, &a.imag);
  return a;
}
```

← bibliotecas usadas

← tem a definição da `struct`

Números Complexos — Exemplo de Cliente

E quando formos usar números complexos em nossos programas?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include "complexos.h"
3
4  int main() {
5    complexo a, b, c;
6    a = complexo_le();
7    b = complexo_le();
8    c = complexo_soma(a, b);
9    complexo_imprime(c);
10   printf("%lf\n", complexo_absoluto(c));
11   return 0;
12 }
```

tem a `struct` e as funções

Como compilar?

Temos três arquivos diferentes:

- `cliente.c` contém a função `main`
- `complexos.c` contém a implementação
- `complexos.h` contém a interface

Vamos compilar por partes:

- `gcc -std=c99 -Wall -Werror -Wvla -g -c cliente.c`
  - vai gerar o arquivo compilado `cliente.o`
- `gcc -std=c99 -Wall -Werror -Wvla -g -c complexos.c`
  - vai gerar o arquivo compilado `complexos.o`
- `gcc cliente.o complexos.o -lm -o cliente`
  - faz a linkagem, gerando o executável `cliente`
  - adicionamos `cliente.o` e `complexos.o`
  - e outras bibliotecas, por exemplo, `-lm`

Makefile

É mais fácil usar um Makefile para compilar

```
1  all: cliente
2
3  cliente: cliente.o complexos.o
4    gcc cliente.o complexos.o -g -lm -o cliente
5
6  cliente.o: cliente.c complexos.h
7    gcc -std=c99 -Wall -Werror -Wvla -g -c cliente.c
8
9  complexos.o: complexos.c complexos.h
10   gcc -std=c99 -Wall -Werror -Wvla -c complexos.c
```

Basta executar `make` na pasta com os arquivos:

- `cliente.c`
- `complexos.c`
- `complexos.h`
- `Makefile`

Apenas recompila o que for necessário!

Vantagens do TAD

- Reutilizar o código em vários programas
  - `complexos.{c,h}` podem ser usados em outros lugares
  - permite criar bibliotecas de tipos úteis
    - ex: biblioteca de álgebra linear
- Código mais simples, claro e elegante
  - O cliente só se preocupa em usar funções
  - O TAD só se preocupa em disponibilizar funções
- Separa a implementação da interface
  - Podemos mudar a implementação sem quebrar clientes
  - Os resultados das funções precisam ser os mesmos
  - Mas permite fazer otimizações, por exemplo
  - Ou adicionar novas funções
- O código fica modular
  - Mais fácil colaborar com outros programadores
  - Arquivos menores com responsabilidade bem definida
- Permite disponibilizar apenas o `.h` e `.o`
  - Não precisa disponibilizar o código fonte da biblioteca

Como criar um TAD

Construímos o TAD definindo:

- Um nome para o tipo a ser usado
  - Ex: `complexo`
  - Uma `struct` com um `typedef`
- Quais funções ele deve responder
  - `soma`, `absoluto`, etc...
  - Considerando quais são as entradas e saídas
  - E o resultado esperado
  - Idealmente, cada função tem apenas uma responsabilidade

Ou seja, primeiro definimos a interface

- Basta então fazer uma possível implementação

Um último detalhe

Pode ser que você tenha dois tipos abstratos de dados

- E um precise incluir o outro...
- O que leva a um loop de inclusão

Podemos usar o `#ifndef` para evitar isso

```
1 #ifndef ARQUIVO_H // trocamos TAD pelo nome do arquivo
2 #define ARQUIVO_H
3
4 // Conteúdo do arquivo.h
5
6 #endif
```

Exercício — Conjunto de Inteiros

Faça um TAD que representa um conjunto de inteiros e que suporte as operações mais comuns de conjunto como adição, união, interseção, etc.

Solução — conjunto.h

```
 1 #ifndef CONJUNTO_H
 2 #define CONJUNTO_H
 3 #define CONJUNTO_MAX 100
 4
 5 typedef struct {
 6     int elementos[CONJUNTO_MAX];
 7     int tamanho;
 8 } Conjunto;
 9
10 Conjunto conjunto_vazio();
11 Conjunto conjunto_uniao(Conjunto a, Conjunto b);
12 Conjunto conjunto_intersecao(Conjunto a, Conjunto b);
13 Conjunto conjunto_diferenca(Conjunto a, Conjunto b);
14 Conjunto conjunto_adiciona(Conjunto a, int elemento);
15 Conjunto conjunto_remove(Conjunto a, int elemento);
16 int conjunto_pertence(Conjunto a, int elemento);
17 void conjunto_imprime(Conjunto a);
18 Conjunto conjunto_le();
19
20 #endif
```

Solução — conjunto.c

```c
#include "conjunto.h"
#include <stdio.h>

Conjunto conjunto_vazio() {
    Conjunto c;
    c.tamanho = 0;
    return c;
}

void conjunto_imprime(Conjunto a) {
    printf("{");
    for (int i = 0; i < a.tamanho; i++) {
        printf("%d", a.elementos[i]);
        if (i < a.tamanho - 1)
            printf(", ");
    }
    printf("}\n");
}

int conjunto_pertence(Conjunto a, int elemento) {
    for (int i = 0; i < a.tamanho; i++)
        if (a.elementos[i] == elemento)
            return 1;
    return 0;
}

Conjunto conjunto_adiciona(Conjunto a, int elemento) {
    Conjunto c = a;
    if (!conjunto_contem(c, elemento)) {
        c.elementos[c.tamanho] = elemento;
        c.tamanho++;
    }
    return c;
}
```

Solução — conjunto.c (continuação)

```
35 Conjunto conjunto_remove(Conjunto a, int elemento) {
36     Conjunto c = a;
37     for (int i = 0; i < c.tamanho; i++)
38         if (c.elementos[i] == elemento) {
39             c.elementos[i] = c.elementos[c.tamanho - 1];
40             c.tamanho--;
41             break;
42         }
43     return c;
44 }
45
46 Conjunto conjunto_uniao(Conjunto a, Conjunto b) {
47     Conjunto c = a;
48     for (int i = 0; i < b.tamanho; i++)
49         c = conjunto_adiciona(c, b.elementos[i]);
50     return c;
51 }
52
53 Conjunto conjunto_intersecao(Conjunto a, Conjunto b) {
54     Conjunto c = conjunto_vazio();
55     for (int i = 0; i < a.tamanho; i++)
56         if (conjunto_contem(b, a.elementos[i]))
57             c = conjunto_adiciona(c, a.elementos[i]);
58     return c;
59 }
60
61 Conjunto conjunto_diferenca(Conjunto a, Conjunto b) {
62     Conjunto c = conjunto_vazio();
63     for (int i = 0; i < a.tamanho; i++)
64         if (!conjunto_contem(b, a.elementos[i]))
65             c = conjunto_adiciona(c, a.elementos[i]);
66     return c;
67 }
```

Solução — conjunto.c (continuação)

```
68 Conjunto conjunto_le() {
69     Conjunto c = conjunto_vazio();
70     int n, x;
71     printf("Entre com o tamanho do conjunto: ");
72     scanf("%d", &n);
73     printf("Entre com os elementos do conjunto: ");
74     for (int i = 0; i < n; i++) {
75         scanf("%d", &x);
76         c = conjunto_adiciona(c, x);
77     }
78     return c;
79 }
```

Solução — cliente_conjunto.c

```c
#include <stdio.h>
#include "conjunto.h"

int main() {
    Conjunto a = conjunto_vazio();
    Conjunto b = conjunto_vazio();
    printf("Conjunto A\n");
    a = conjunto_le();
    printf("Conjunto B\n");
    b = conjunto_le();

    printf("União: ");
    conjunto_imprime(conjunto_uniao(a, b));
    printf("Interseção: ");
    conjunto_imprime(conjunto_intersecao(a, b));
    printf("Diferença: ");
    conjunto_imprime(conjunto_diferenca(a, b));

    printf("Adicionando 42 ao conjunto A: ");
    Conjunto c = conjunto_adiciona(a, 42);
    conjunto_imprime(c);

    printf("42 pertence ao novo conjunto? ");
    if (conjunto_contem(c, 42))
        printf("Sim\n");
    else
        printf("Não\n");

    return 0;
}
```

Exercício — Matrizes

Faça um TAD que representa uma matriz de reais e que suporte as operações mais comuns para matrizes como multiplicação, adição, etc.

Solução — matriz.h

```
 1 #ifndef MATRIZ_H
 2 #define MATRIZ_H
 3 #define MATRIZ_MAX 100
 4
 5
 6 typedef struct Matriz {
 7     double elementos[MATRIZ_MAX][MATRIZ_MAX];
 8     int linhas;
 9     int colunas;
10 } Matriz;
11
12
13 Matriz matriz_nova(int linhas, int colunas, double elementos[][MATRIZ_MAX]);
14 void matriz_imprime(Matriz m);
15 Matriz matriz_adiciona(Matriz m1, Matriz m2);
16 Matriz matriz_multiplica(Matriz m1, Matriz m2);
17 Matriz matriz_multiplica_escalar(Matriz m, double escalar);
18
19 #endif
```

Solução — matriz.c

```c
#include "matriz.h"
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

Matriz matriz_nova(int linhas, int colunas, double elementos[][MATRIZ_MAX]) {
    Matriz m;
    m.linhas = linhas;
    m.colunas = colunas;
    for (int i = 0; i < linhas; i++)
        for (int j = 0; j < colunas; j++)
            m.elementos[i][j] = elementos[i][j];
    return m;
}

void matriz_imprime(Matriz m) {
    for (int i = 0; i < m.linhas; i++) {
        for (int j = 0; j < m.colunas; j++)
            printf("%f ", m.elementos[i][j]);
        printf("\n");
    }
}

Matriz matriz_adiciona(Matriz m1, Matriz m2) {
    if (m1.linhas != m2.linhas || m1.colunas != m2.colunas) {
        printf("Erro: soma de matrizes inválida\n");
        exit(1);
    }
    Matriz m;
    m.linhas = m1.linhas;
    m.colunas = m1.colunas;
    for (int i = 0; i < m1.linhas; i++)
        for (int j = 0; j < m1.colunas; j++)
            m.elementos[i][j] = m1.elementos[i][j] + m2.elementos[i][j];
    return m;
}
```

Solução — matriz.c (continuação)

```
36 Matriz matriz_multiplica(Matriz m1, Matriz m2) {
37     if (m1.colunas != m2.linhas) {
38         printf("Erro: multiplicação de matrizes inválida\n");
39         exit(1);
40     }
41     Matriz m;
42     m.linhas = m1.linhas;
43     m.colunas = m2.colunas;
44     for (int i = 0; i < m1.linhas; i++)
45         for (int j = 0; j < m2.colunas; j++) {
46             m.elementos[i][j] = 0;
47             for (int k = 0; k < m1.colunas; k++)
48                 m.elementos[i][j] += m1.elementos[i][k] * m2.elementos[k][j];
49         }
50     return m;
51
52 }
53
54 Matriz matriz_multiplica_escalar(Matriz m, double escalar) {
55     Matriz r;
56     r.linhas = m.linhas;
57     r.colunas = m.colunas;
58     for (int i = 0; i < m.linhas; i++)
59         for (int j = 0; j < m.colunas; j++)
60             r.elementos[i][j] = m.elementos[i][j] * escalar;
61     return r;
62 }
```

Solução — cliente_matriz.c

```c
#include <stdio.h>
#include "matriz.h"

int main() {
    double elementos1[MATRIZ_MAX][MATRIZ_MAX] = {{1, 2}, {3, 4}};
    double elementos2[MATRIZ_MAX][MATRIZ_MAX] = {{5, 6}, {7, 8}};
    Matriz m1 = matriz_nova(2, 2, elementos1);
    Matriz m2 = matriz_nova(2, 2, elementos2);
    Matriz m3 = matriz_adiciona(m1, m2);
    Matriz m4 = matriz_multiplica(m1, m2);
    Matriz m5 = matriz_multiplica_escalar(m1, 2);
    printf("Matriz 1:\n");
    matriz_imprime(m1);
    printf("Matriz 2:\n");
    matriz_imprime(m2);
    printf("Soma:\n");
    matriz_imprime(m3);
    printf("Multiplicação:\n");
    matriz_imprime(m4);
    printf("Multiplicação da Matriz 1 por 2:\n");
    matriz_imprime(m5);
    return 0;
}
```

Dúvidas?