Curs 2 – Programare modulară în C

- Funcții – Test driven development, Code Coverage

- Module – Programare modulara, TAD

- Gestiunea memoriei in C/C++

Curs 1

- Introducere - OOP
- C Programming language
    - sintaxa
    - tipuri de date, variabile, instrucțiuni

Funcții

Declarare (Function prototype)

<result type> name (<parameter list>);

<result-type> - tipul rezultatului, poate fi orice tip sau *void daca funcția nu returnează nimic*
<name> - numele funcției
<parameter-list> - parametrii formali

Corpul funcției nu face parte din declarare

```
/**
 * Computes the greatest common divisor of two positive integers.
 * a, b integers, a,b>0
 * return the the greatest common divisor of a and b.
 */
int gcd(int a, int b);
```

Funcții

Definiție

<result type> name(<parameter list>){
//statements - the body of the function
}

- **return** <exp> rezultatul expresiei se returnează, execuția funcției se termina
- o funcție care nu este void trebuie neapărat sa returneze o valoare prin expresia ce urmează după **return**
- declararea trebuie sa corespunda cu definiția (numele parametrilor poate fi diferit)

```
/**
 * Computes the greatest common divisor of two positive integers.
 * a, b integers, a,b>0
 * return the the greatest common divisor of a and b.
 */
int gcd(int a, int b) {
	if (a == 0 || b == 0) {
		return a + b;
	}
	while (a != b) {
		if (a > b) {
			a = a - b;
		} else {
			b = b - a;
		}
	}
	return a;
}
```

*Funcția **main** este executat când lansam in execuție un program* C/C++

Specificații

- Nume sugestiv
- O scurtă descriere a funcției (ce face)
- Semnificația parametrilor
- condiții asupra parametrilor (precondiții)
- ce se returnează
- relația dintre parametri și rezultat (post condiții)

```
/*
* Verify if a number is prime
* nr - a number, nr>0
* return true if the number is prime (1 and nr are the only dividers)
*/
int isPrime(int nr);
```

precondiții - sunt condiții care trebuie sa fie satisfăcute de parametrii actuali înainte de a executa corpul funcției

postcondiții - condiții care sunt satisfăcute după execuția funcției

Apelul de funcții

name (<parameter list>);

- Toate expresiile date ca parametru sunt evaluate înainte de execuția funcției
- Parametrii actuali trebuie sa corespundă cu parametri formal (număr, poziție, tip)
- declarația trebuie sa apară înainte de apel

```
int d = gcd(12, 6);
```

Vizibilitate (scope)

Locul unde declarăm variabila determină vizibilitate lui (unde este variabila accesibilă).

Variabile locale

- variabila este vizibila doar în interiorul instrucțiunii compuse ({ }) unde a fost declarată
- variabilele declarate în interiorul funcției sunt vizibile (accesibile) doar în funcție
- Încercarea de a accesa o variabilă în afara domeniului de vizibilitate generează eroare la compilare.
- Ciclul de viață a unei variabile începe de la declararea lui si se termină când execuția iese din domeniul de vizibilitate a variabilei (variabila se distruge, memoria ocupată se eliberează)

Variabile globale

- Variabilele definite in afara funcțiilor sunt accesibile în orice funcție, domeniul lor de vizibilitate este întreg aplicația
- Se recomandă evitarea utilizării variabilelor globale (există soluții mai bune care nu necesită variabile globale)

Transmiterea parametrilor : prin valoare sau prin referință

Transmitere prin valoare: `void byValue(int a);`

La apelul funcției se face o copie a parametrilor.
Schimbările făcute în interiorul funcției nu afectează variabilele exterioare.
Este mecanismul implicit de transmitere a parametrilor în C

Transmitere prin „referință” : `void byRef(int* a);`

La apelul funcției se transmite o adresă de memorie (locația de memorie unde se află valoarea variabilei).

Modificările din interiorul funcției sunt vizibile și în afară (modificam valorile de la același adresa de memorie).

```
void byValue(int a) {
	a = a + 1;
}
void byRef(int* a) {
	*a = *a + 1;
}
void testArrayParam(int a[]){
	a[0] = 3;
}
int main() {
	int a = 10;
	byValue(a);
	printf("Value remain unchanged a=%d \n", a);
	byRef(&a);
	printf("Value changed a=%d \n", a);
	 int a[] = {1,2,3};
	 testArrayParam(a);
	 printf("value is changed %d\n",a[0]);
	return 0;
}
```

Vectorul este transmis prin **referință** (se transmite adresa de început al vectorului)

Valoarea returnată de funcție

Built in types (se returnează o valoare simplă)

Pentru tipurile predefinite (int, char, double, etc.) se returnează o copie.

Pointer (se returnează o adressă de memorie)

Nu returnați adresa unei variabile locale. Memoria alocata de compilator pentru o variabilă este eliberată (devine invalid) în momentul în care se termină execuția funcției (variabila nu mai este vizibilă)

Vector

nu se poate returna un vector (**int**[]) dintr-o funcție. Se poate returna un pointer **int*** (adresa primului element). Obs. Nu returnați adresa de memorie de la variabile locale (alocate de compilator și distruse la ieșirea din funcție)

Struct

Se comportă ca și valorile simple (int, char, double,etc)
Dacă tipul de return este un struct, se creează o copie si acesta se returnează

Dacă folosim operatorul de asignment (=) se face o copie a struct-ului din dreapta

Dacă struct-ul conține pointeri (char*), se copiază adresa, nu și memoria referită de pointer. După copiere cele două struct-uri vor referi același zonă de memorie.

Daca struct-ul conține vectori (char[20]) se copiază întreg vectorul (20 de caractere). După copiere cele doua struct-uri au doi vectori independenți.

Copiere de valori in C

O valoare se poate copia:

- **Folosind operatorul = (assignment) a=b;**
- **La transmitere ca parametru unei funcții**
- **La returnarea unei valori dintr-o funcție**

Tipurile simple (char, int double): se copiază valoarea

Pointeri (int*, char*, etc): se copiază adresa, in urma copierii cele doua variabile refera același adresa de memorie. Valabil si daca avem un pointer in interiorul unui struct.

Struct (struct{int a, int t[10], int* p}): se copiază bit cu bit fiecare câmp din struct. Daca am o valoare se face o copie, daca am un pointer se copiază adresa, daca am un vector se copiază tot vectorul element cu element.

Exceptii de la regulile de copiere – vector static (int[10],char[10], etc):

La transmiterea unui vector ca parametru la funcție se transmite adresa de început a vectorului. **Array decay**: vectorul e transmis ca un pointer. Astfel modificările vectorului in interiorul funcției se reflecta si in afara.

Nu se pot returna vectori dintr-o funcție

Nu se poate face assignement la vectori

Proces de dezvoltare incrementală bazată pe funcționalități

- Se creează lista de funcționalități pe baza enunțului
- Se planifică iterațiile (o iterație conține una/mai multe funcționalități)
- Pentru fiecare funcționalitate din iterație
  - Se face modelare – scenarii de rulare
  - Se creează o lista de tascuri (activități)
  - Se implementează și testează fiecare activitate

Dezvoltare dirijată de teste (test-driven development - TDD)

Dezvoltarea dirijată de teste presupune crearea de teste automate, chiar înainte de implementare, care clarifică cerințele

Pașii TDD pentru crearea unei funcții:

- Adaugă un test – creează teste automate
- Rulăm toate testele și verificăm ca noul test pică
- Scriem corpul funcției
- Rulăm toate testele și ne asigurăm că trec
- Refactorizăm codul

Funcții de test

Assert

```
#include <assert.h>
void assert (int expr);
```

expr – Se evaluează expresia. Daca e fals (=0) metoda assert generează o eroare și se termină execuția aplicației
Mesajul de eroare depinde de compilator (pot fi diferențe in funcție de compilator), conține informații despre locul unde a apărut eroarea (fișierul, linia), expresia care a generat eroare.

Vom folosi instrucțiunea assert pentru a crea teste automate.

```
#include <assert.h>
/*
 * greatest common divisor .
 * Pre: a, b >= 0, a*a + b*b != 0
 * return gdc
 */
int gcd(int a, int b) {
	a = abs(a);
	b = abs(b);
	if (a == 0) {
		return b;
	}
	if (b == 0) {
		return a;
	}
	while (a != b) {
		if (a > b) {
			a = a - b;
		} else {
			b = b - a;
		}
	}
	return a;
}
```

```
/**
 * Test function for gcd
 */
void test_gcd() {
	assert(gcd(2, 4) == 2);
	assert(gcd(3, 27) == 3);
	assert(gcd(7, 27) == 1);
	assert(gcd(7, -27) == 1);
}
```

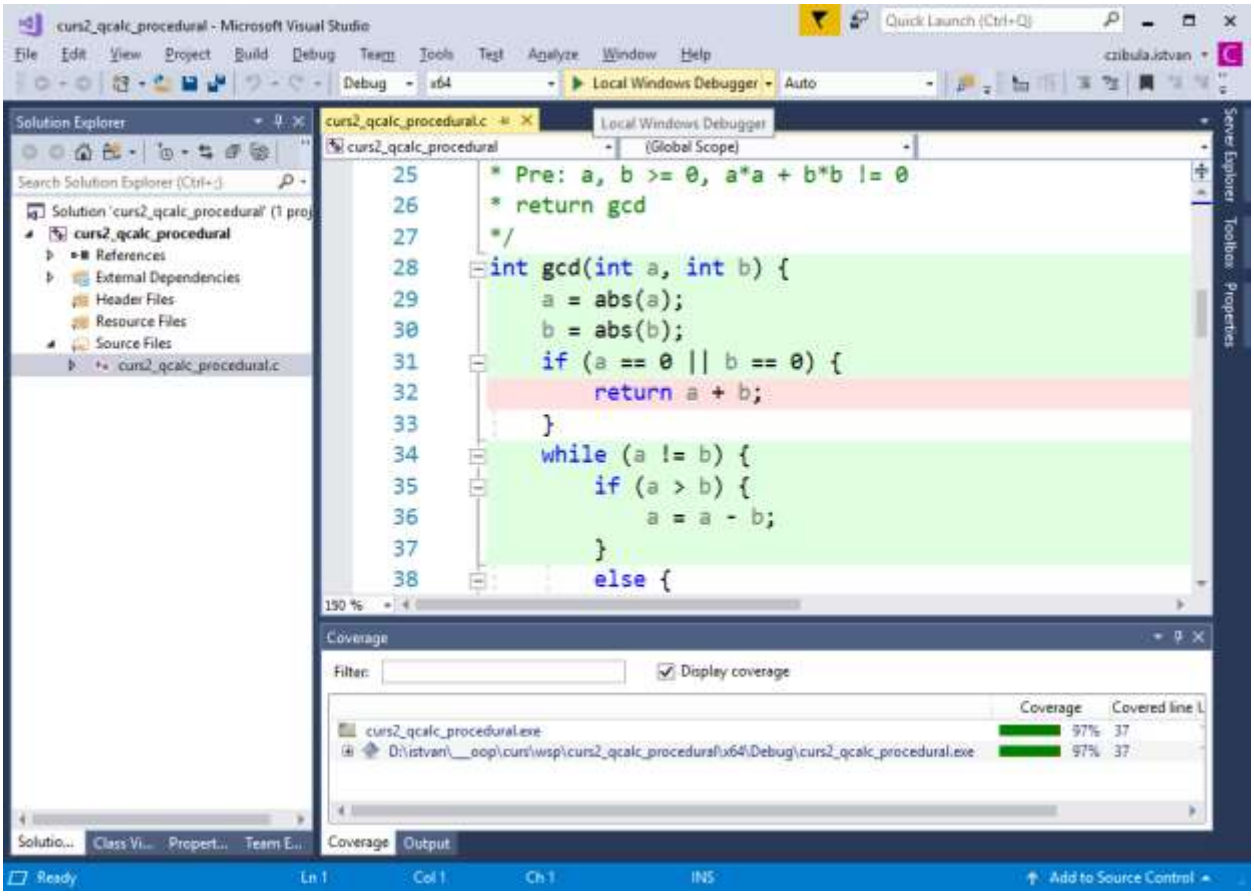
Acoperirea testelor – Test Code Coverage

Ideea: măsoară procentul de cod executat (din totalul de cod din proiect/fișier) in urma rulării programului.

Code Coverage – porțiunea de cod executata la rularea aplicației
Test code coverage - porțiunea de cod executata la rularea testelor

Test Code Coverage

- măsura pentru calitatea testelor (nu e singura)
- varianta simpla numără liniile de cod efectiv executate la rularea tuturor testelor
- exista si alte variante: branch coverage, statement coverage, expression coverage, etc.



Pentru Visual Studio 2017: se instalează plugin-ul OpenCPPCoverage
Din meniul: Tools->Extension and Updates -> OpenCPPCoverage plugin install
Dupa instalare apare un nou element de meniu: Tools-> Run OpenCPPCoverage

Review: Calculator – varianta procedurală

Problem statement: Profesorul are nevoie de un program care permite elevilor să învețe despre numere raționale. Programul ajută studenții să efectueze operații aritmetice cu numere raționale

```c
/**
 * Test function for gcd
 */
void test_gcd() {
	assert(gcd(2, 4) == 2);
	assert(gcd(3, 27) == 3);
	assert(gcd(7, 27) == 1);
	assert(gcd(7, -27) == 1);
}

/*
 * Add (m, n) to (toM, toN) - operation on rational numbers
 * Pre: toN != 0 and n != 0
 */
void add(int* toM, int* toN, int m, int n) {
	*toM = *toM * n + *toN * m;
	*toN = *toN * n;
	int gcdTo = gcd(abs(*toM), abs(*toN));
	*toM = *toM / gcdTo;
	*toN = *toN / gcdTo;
}

int main() {
	test_gcd();
	int totalM = 0, totalN = 1;
	int m, n;
	while (1) {
		printf("Enter m, then n to add\n");
		scanf("%d", &m);
		scanf("%d", &n);
		add(&totalM, &totalN, m, n);
		printf("Total: %d/%d\n", totalM, totalN);
	}
	return 0;
}
```

Principii de proiectare pentru funcții

- **Fiecare funcție sa aibă o singură responsabilitate (Single responsability principle)**
- **Folosiți nume sugestive (nume funcție, nume parametrii, variabile)**
- **Folosiți reguli de denumire (adauga_rational, adaugaRational, CONSTANTA), consistent în toată aplicația**
- **Specificați fiecare funcție din aplicație**
- **Creați teste automate pentru funcții**
- **Funcția trebuie sa fie ușor de testat, (re)folosit, înțeles și modificat**
- **Folosiți comentarii în cod (includeți explicații pentru lucruri care nu sunt evidente în cod)**
- **Evitați (pe cât posibil) funcțiile cu efect secundar**

Programare Modulara in C/C++.

Modulul este o colecție de funcții si variabile care oferă o funcționalitate bine definită.

Fișiere Header .

Declarațiile de funcții sunt grupate într-un fișier separat – fișier header (.h).
Implementarea (definițiile pentru funcții) intr-un fișier separat (.c/.cpp)

Scop

Separarea interfeței (ce oferă modulul) de implementare (cum sunt implementate funcțiile)
Separare specificații, declarații de implementare

Modulele sunt distribuite in general prin: fișierul header + fișierul binar cu implementările (.dll,.so)

- Nu e nevoie să dezvălui codul sursă (.c/.cpp)

Cei care folosesc modulul au nevoie doar de declarațiile de funcții (fișierul header) nu si de implementări (codul din fișierele .c/.cpp)

Directive de preprocessare

Preprocesarea are loc înainte de compilare.

cod sursă – preprocesare – compilare – linkeditare – executabil

Permite printre altele: includere de fișiere header, definire de macrouri, compilare condiționată

Directiva Include

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

Pentru a avea acces la funcțiile declarate intr-un modul (bibliotecă de funcții) se folosește directiva **#include**
Preprocesorul include fișierul referit în fișierul sursă în locul unde apare directiva

avem două variante pentru a referi un modul: < > sau “”

#include "local.h” //cauta fișierul header relativ la directorul curent al aplicației
#include <header> // caută fișierul header între bibliotecile system (standard compiler include paths)

Aplicații modulare C/C++

Codul este inparțit in mai multe fisiere header (.h) si implementare (.c)

- fișierele **.h** conțin declarații (interfața)
- **.c** conține definiția (implementarea) funcțiilor

se grupează funcții in module astfel încât modulul sa ofere o funcționalitate bine definită (puternic coeziv)

- Când un fișier .h se modifică este nevoie de **recompilarea** tuturor modulelor care îl referă (direct sau indirect)
- Fișierele .c se pot compila separat, modificarea implementării nu afectează modulele care folosesc (ele referă doar definițiile din header)

Headerul este un **contract** între cel care dezvoltă modulul și cel care folosește modulul.
Detaliile de implementare sunt ascunse in fișierul .c

Review: Calculator versiune modulară

Module:

- **calculatorui.c – interfața utilizator**
- **calculator.h, calculator.c - TAD Calculator, operatii cu calculator**
- **rational.h, rational.c - TAD rational, operatii cu numere rationale**
- **util.h, util.c - funcții utile de operații cu numere (gcd)**

Declarație multiplă – directivele #ifndev și #define

Într-un program mai complex este posibil ca un fișier header sa fie inclus de mai multe ori. Asta ar conduce la declarații multiple pentru funcții

Soluție: se folosesc directivele de preprocesare

#ifndef, #ifdef, #define, #endif

Se poate verifica daca modulul a fost deja inclus, respectiv sa marcăm cand un modul a fost inclus (prin definirea unei etichete)

```
#ifndef RATIONAL_H_   /* verify if RATIONAL_H_ is already defined, the rest
                         (until the #endif will be processed only if RATIONAL_H_ is
                         not defined*/
#define RATIONAL_H_   /* define RATIONAL_H_ so next time the prepocessor will not
                        include this */

/**
 * New data type to store rational numbers
 */
typedef struct {
      int a, b;
} Rational;

/**
 * Compute the sum of 2 rational numbers
 * a,b rational numbers
 * rez - a rational number, on exit will contain the sum of a and b
 */
void sum(Rational nr1, Rational nr2, Rational &rez);

#endif /* RATIONAL_H_ */
```

Principii de proiectare pentru module

- **Separați interfața de implementare**
  - **Headerul conține doar declarații, implementările în fișierul .c**
- **Includeți la începutul fișierului header un comentariu, o scurta descriere a modulului**
- **Creați module puternic coezive**
  - **fiecare modul o singură funcționalitate, are o singură responsabilitate**
- **Șablonul - Arhitectură stratificată**
  - Straturi: **ui**, **service**, **model**, **validation**, **repository**
  - Controlul dependențelor - Fiecare nivel depinde doar de nivelul următor
- **Tip abstract de date – TAD**
  - **operațiile definite in header (interfață) /implementarea in .c**
  - **ascundere detalii de implementare**
  - **specificații abstracte (independent de implementare, ce face nu cum)**

Biblioteci standard

`#include <stdio.h>`
Operatii de intrare/iesire

`#include <math.h>`
Funcții matematice – abs, sqrt, sin, exp, etc

`#include <string.h>`

sirul de caractere in C - vector de char care se termina cu caracterul `'\0'`

`strncpy` – copiează string
`strcat` – concatenează string
`strcmp` – compară stringuri
`strlen` – lungimea stringului

```c
#include<stdio.h>
#include<string.h>

int main(void) {
	char arr[4]; // for accommodating 3 characters and one null '\0' byte.
	char *ptr = "abc"; //a string containing 'a', 'b', 'c', '\0'

	memset(arr, '\0', sizeof(arr)); //reset all
	strncpy(arr, ptr, sizeof("abc")); // Copy the string

	printf("\n %s \n", arr);

	arr[0] = 'p';

	printf("\n %s \n", arr);
	return 0;
}
```

Pointeri

Pointer este un tip de date , folosit pentru a lucra cu adrese de memorie - poate stoca adresa unei variabile, adresa unei locații de memorie

Operatori: '&','*'

```c
#include <stdio.h>

int main() {
	int a = 7;
	int *pa;

	printf("Value of a:%d address of a:%p \n", a, &a);
	//assign the address of a to pa
	pa = &a;
	printf("Value of pa:%d address of pa:%p \n", *pa, pa);

	//a and pa refers to the same memory location
	a = 10;
	printf("Value of pa:%d address of pa:%p \n", *pa, pa);
	return 0;
}
```

Null pointer

- valoare specială (0) pentru a indica faptul ca pointerul nu referă o memorie validă

Pointer invalid (Dangling pointer)

Adresa referită de pointer e invalid

```c
#include <stdio.h>

int main() {
	//init to null
	int *pa1 = NULL;
	int *pa2;
//!!! pa2 refers to an unknown addres
	*pa2 = 6;

	if (pa1==NULL){
		printf("pa1 is NULL");
	}
	return 0;
}
```

```c
#include <stdio.h>
int* f() {
	int localVar = 7;
	printf("%d\n", localVar);
	return &localVar;
}

int main() {
	int* badP = f();
	//!!! *badP refera o adresa de memorie
	//care a fost deja eliberata
	printf("%d\n", *badP);
}
```

Vectori / pointeri - Aritmetica pointerilor

O variabila de tip vector - un pointer la primul element al vectorului

- vectorul este transmis prin referința (se transmită adresa de memorie al primului element din vector – nu se face o copie).
- Indicele pornește de la 0 – primul element este la distantă 0 fața de începutul vectorului.
- Expresia array[3] – compilatorul calculează care este locația de memorie la distanță 3 față de începutul vectorului.
- Cu funcția **sizeof**(var) se poate afla numărul de bytes ocupat de valoarea din var (depinde de tipul lui var)

Array decay – orice vector cu elemente de tip T poate fi folosit in locul in care se cere un pointer la T. Obs. Informațiile despre dimensiune se pierd in acest proces (nu putem afla dimensiunea folosind sizeof)

Aritmetica pointerilor

Folosirea de operații adăugare/scădere pentru a naviga in memorie (adrese de memorie)

```c
#include <stdio.h>

int main() {
	int t[3] = { 10, 20, 30 };
	int *p = t;
	//print the first elem
	printf("val=%d adr=%p\n", *p, p);

	//move to the next memory location (next int)
	p++;
	//print the element (20)
	printf("val=%d adr=%p\n", *p, p);
	return 0;
```

p++ în funcție de tipul valorii referite de pointer, compilatorul calculează următoarea adresa de memorie.

Gestiunea memoriei

Pentru variabilele declarate intr-o aplicație, compilatorul aloca memorie pe **stivă** (o zonă de memorie gestionat de compilator)

```
int f(int a) {
   if (a>0){
       int x = 10; //memory for x is allocated on the stack
   }
   //here x is out of scope and the memory allocated for x is no longer reserved
   //the memory can be reused
   return 0;
}
```

```
int f(int a) {
   int *p;
   if (a>0){
       int x = 10;
        p = &x;
   }
   //here p will point to a memory location that is no longer reserved
   *p = 5; //!!! undefined behavior, the program may crash
   return 0;
}
```

Memoria este automat eliberată de compilator în momentul în care execuția părăsește domeniul de vizibilitate a variabilei.

La ieșire dintr-o funcție memoria alocată pentru variabile locale este eliberată automat de compilator

Alocare dinamică

Folosind funcțiile **malloc**(size) și **free**(pointer) programatorul poate aloca memorie pe Heap – zonă de memorie gestionat de programator
<stdlib.h> header file.

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

int main() {
	//allocate memory on the heap for an int
	int *p = malloc(sizeof(int));

	*p = 7;
	printf("%d \n", *p);
	//Deallocate
	free(p);
    //allocate space for 10 ints (array)
	int *t = malloc(10 * sizeof(int));
	t[0] = 0;
	t[1] = 1;
	printf("%d \n", t[1]);
	//dealocate
	free(t);
	return 0;
}
/**
 * Make a copy of str
 * str - string to copy
 * return a new string
 */
char* stringCopy(char* str) {
	char* newStr;
	int len;
	len = strlen(str) + 1; // +1 for the '\0'
	newStr = malloc(sizeof(char) * len); // allocate memory
	strcpy(newStr, str); // copy string
	return newStr;
}
```

Programatorul este responsabil sa dealoce memoria
OBS: Pentru fiecare `malloc` trebuie sa avem exact un `free`

Memory management

void *malloc(int num); - aloca num byte de memorie, memoria este neintializata

void *calloc(int num, int size); - aloca num*size memorie, inițializează cu 0

void *realloc(void *address, int newsize); - resize the memory

void free(void *address); - eliberează memoria (este disponibila pentru următoarele alocări)

Memory leak

Programul aloca memorie dar nu dealoca niciodată, memorie irosită

```
int main() {
	int *p;
	int i;
	for (i = 0; i < 10; i++) {
		p = malloc(sizeof(int));
		//allocate memory for an int on the heap
		*p = i * 2;
		printf("%d \n", *p);
	}
	free(p); //deallocate memory
	//leaked memory - we only deallocated the last int
	return 0;
}
```

void*

O funcție care nu returnează nimic

```
void f() {
}
```

Nu putem avea variabile de tip `void` dar putem folosi pointer la void - `void*`

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

int main() {
	void* p;
	int *i=malloc(sizeof(int));
	*i = 1;
	p = i;
	printf("%d /n", *((int*)p));
	long j = 100;
	p = &j;
	printf("%ld /n", *((long*)p));
	 free(i);
	return 0;
}
```

Se pot folos `void*` pentru a crea structuri de date care funcționează cu orice tip de elemente

Probleme: verificare egalitate între elemente de tip `void*` , copiere elemente

Vector dinamic

```c
typedef void* Element;

typedef struct {
	Element* elems;
	int lg;
	int capacitate;
} VectorDinamic;

/**
 *Creaza un vector dinamic
 * v vector
 * post: vectorul e gol
 */
VectorDinamic * creazaVectorDinamic();


/**
 *Initializeaza vectorul
 * v vector
 * post: vectorul e gol
 */
VectorDinamic * creazaVectorDinamic() {
  VectorDinamic *v =
malloc(sizeof(VectorDinamic));
  v->elems = malloc(INIT_CAPACITY *
sizeof(Element));
  v->capacitate = INIT_CAPACITY;
  v->lg = 0;
  return v;
}
/**
 * Elibereaza memoria ocupata de vector
 */
void distruge(VectorDinamic *v) {
	int i;
	for (i = 0; i < v->lg; i++) {
//!!!!functioneaza corect doar daca
//elementele din lista NU refera
// memorie alocata dinamic
		free(v->elems[i]);
	}
	free(v->elems);
	free(v);
}
```

```c
/**
 * Adauga un element in vector
 * v - vector dinamic
 * el - elementul de adaugat
 */
void add(VectorDinamic *v, Element el);

/**
 *Returneaza elementul de pe pozitia data
 * v - vector
 * poz - pozitie, poz>=0
 * returneaza elementul de pe pozitia poz
 */
Element get(VectorDinamic *v, int poz);


/**
 * Aloca memorie aditionala pentru vector
 */
void resize(VectorDinamic *v) {
  int nCap = 2*v->capacitate;
  Element* nElems=
malloc(nCap*sizeof(Element));
	//copiez din vectorul existent
  int i;
  for (i = 0; i < v->lg; i++) {
		nElems[i] = v->elems[i];
  }
  //dealocam memoria ocupata de vector
  free(v->elems);
  v->elems = nElems;
  v->capacitate = nCap;
}
/**
 * Adauga un element in vector
 * v - vector dinamic
 * el - elementul de adaugat
 */
void add(VectorDinamic *v, Element el) {
	if (v->lg == v->capacitate) {
		resize(v);
	}
	v->elems[v->lg] = el;
	v->lg++;
}
```

Pointer la funcții

```
void (*funcPtr)();  // a pointer to a function
void *funcPtr();    // a function that returns a pointer
```

```
void func() {
	printf("func() called...");
}
int main() {
	void (*fp)(); // Define a function pointer
	fp = func; // Initialise it
	(*fp)(); // Dereferencing calls the function
	void (*fp2)() = func; // Define and initialize
	(*fp2)(); // call
}
```

Putem folosi pointer la funcții în structurile de date generice

```
typedef elem (*copyPtr)(elem&, elem);

typedef int (*equalsPtr)(elem, elem);
```