

S2-02 Multiparadigma programozás és Haladó Java 1

Tartalom

1. Memóriakezelés: referencia- és érték-szemantika
2. Referenciakezelési technikák, Objektumok másolása, move-szemantika
3. Erőforrásbiztos programozás, RAII, destruktork és szemétygyűjtés
4. Kivételkezelés, kivételbiztos programozás
5. A konkurens programozás alapelemei Javában és C++-ban
6. További források

1. Memóriakezelés: referencia- és érték-szemantika

Ebben a fejezetben “referencia” alatt C++ referenciákat és pointereket értünk. Azaz bármit ami memóriacímet tárol (*Java-ban is referenciának hívják a pointereket*)

Változók viselkedésének két koncepciója

1. Hatáskör (scope)
 - Megmondja, hogy a program szövegében hol van egy bizonyos azonosító (*identifier*, lehet változó vagy függvény is)
 - Meghatározza a láthatóságot is: hol használható az azonosító
2. Élettartam (life)
 - Meghatározza meddig biztonságos egy memóriahelyen tárolni az értékeinket futásidő alatt
 - Az élettartam lejártá után azt a memóriahelyet már nem biztonságos olvasni és írni

Normális változónak: hatásköre és élettartama van

Referenciának: csak hatásköre van, élettartamot nem követ

Érték-szemantika (*Value semantics*)

- Értékadáskor magának az értéknek a másolása a változóba
- C++-ban érték-szemantika az alapértelmezett

Előnyök:

- Nincsenek memóriakezelési problémák
 - nincsenek “csellengő” (dangling) pointerek nemlétező memóriahelyre
 - nincsenek drága heap allokációk

- nincsenek memóriaszivargások

Referencia-szemantika (*Reference semantics*)

- Értékadáskor a memória címének másolása a változóba
 - vagy pointer másolása
- Referencia és pointer közötti különbség: pointer lehet NULL, referencia nem

Előnyök:

- Polimorfizmus megvalósítása
- Egyes esetekben jobb teljesítmény az érték-szemantikánál
- Nem mindent engedünk meg értékként másolni, például `std::cout`, `std::unique_ptr` és `std::shared_ptr`

Visszatérés referenciával

- C++-ban alapértelmezésben a függvény értékkel tér vissza, amit másol
- Visszatérhetsz referenciával is ha a megjelölöd a függvény típusában
- **LÁBON LŐHETED MAGAD:** ne térj vissza lokális változók címével, mivel azok élettartama a függvény scope-jához kötöttek
 - Emlékezz: referenciák nem követnek élettartamot

```
#include <iostream>

int& f()           // Függvény ami referenciát ad vissza
{
    int i = 300;    // Lokális változó a stack-en
    return i;       // Visszatérés lokális i változó címével
} // HIBA: mire f függvény végetért, lokális i változó kiment a scope-ból
//      és törlődött!

int main()
{
    int& x = f();

    // FUTÁSIDEJŰ HIBA: az alábbi sor "0"-t fog kiírni "300" helyett!
    std::cout << x << std::endl;

    return 0;
}
```

Copy elision

- Fordító képes kioptimalizálni az objektumok felesleges másolását

- C++98: Copy-konstruktorok elhagyása
- C++11: Move-konstruktorok elhagyása
- Másolásmentes értékszerinti átadás szemantika megvalósítása (*zero-copy pass-by-value*)
- Akkor alkalmazható, ha a változó egy temporary objektumból lett konstruálva
 - ide tartoznak a függvényparaméterek is

1. Inicializációkor

```
T x = T(T(T()));    // Ehelyett T x = T()

// Nem fogja a rakás copy-konstruktorát meghívni,
// csak egy alapértelmezett konstruktorát.
```

2. Függvényhívásban

```
T f() { return T(); }    // Visszatérés temporary-val

int main()
{
    T x = f();            // Ehelyett T x = T()
    T* p = new T(f());    // Ehelyett T* p = new T()
}
```

2. Referenciakezelési technikák, Objektumok másolása, move-szemantika

Referenciakezelési technikák

Memóriakezelés

Memória szegmens: Operációs rendszer \Rightarrow minden programnak egy területet tart fenn a memóriából.

Memóriacím: Minden bájt (memória hely) rendelkezik egy sorszámmal. Ezen keresztül elérhető a memória szegmensben. (Általában hexadecimális, pl.: 0x34c420)

- Minden változó rendelkezik memóriacímmel
- C++-ban változókhoz hasonlóan kezelhetjük őket
- Típustól függően több bájton is tárolódhat egy változó értéke \Rightarrow mindig az első bájt címét kapjuk vissza

Referencia

Egy változó memóriacímét az `&` operátorral kérdezhetjük le, ez a referencia operátor. (`&váltózónév`) a változó első bájtyának memóriabeli címe).

- Referenciákat eltárolhatjuk változókbán
 - ezzel alias lesz egy változónévhez (mint Linuxban a szimbolikus linkek)

```
int i = 128;
int j = i; // egyszerű változó
int& k = i; // referencia változó
```

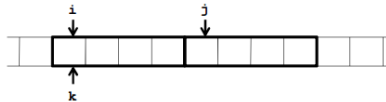


Figure 1: Referencia változók

Pointerek

Speciálisabb változótípus: memóriacímet tárol értékként.

- új adat, mely másik adat memóriacímét tárolja
- általánosabb célú, mint a referencia
- Létrehozáskor: megadjuk a mutatott érték típusát
 - mutató létrehozása: `<típus>* <mutatónév>`
 - mutató típusa: `<típus>*`
 - pl.: `int* ip; // egy int-re mutató pointer`
- pointer lehet NULL, referencia nem
- Ökölszabály:
 - ahol lehet használni referenciákat
 - ahol muszáj, ott pointereket (de akkor már smart pointert a mai világban)

Memóriaterületek

Használat szempontjából háromféle memóriaterületet különböztetünk meg:

- *globális terület*
 - konstansok, globális változók, statikus lokális változók
 - program indulásakor le van foglalva nekik terület (még ha nincsenek is inicializálva)
 - program futásának végéig jelen vannak
- *stack (verem)*
 - lokális változók
 - automatikusan jönnek létre definiáláskor, lokális scope végén automatikusan felszabadulnak
 - függvények memóriaterületeit stack frame-eknek hívjuk

1. függvényhíváskor hívó függvény (caller) stack frame-jének elmentése és hívott függvény (callee) stack frame-jének beállítása (function prologue)
 2. paraméterek mozgatása regiszterekbe
 3. függvény végrehajtása
 4. végén return value írása regiszterbe
 5. hívott függvény stack frame pop-olása és visszatérés hívó függvénybe (function epilogue)
- *heap (kupac, free store)*
 - futásidőben dinamikusan lefoglalható (általában a legnagyobb része a programnak)
 - akkor foglaljunk a heap-en, amikor változó mérete csak futásidőben határozható meg, mérete stack overflow-t eredményezne vagy polimorfizmust szeretnénk megvalósítani
 - lassabb elérni, mint a stack-et

Memóriahely felszabadítás

A lefoglalt memóriát fel is kell szabadítani.

- automatikusan lefoglalt memória \Rightarrow program automatikusan végzi, nincs befolyásunk
- manuálisan létrehozott memória \Rightarrow nekünk kell törölni
- törlés:
 - **delete** operátorral
 - tömböket a **delete[]** operátorral (Ha tömbre is a **delete**-et használjuk, csak az első elem törlődik)
- Nem a mutatót, hanem a dinamikusan lefoglalt területet kell felszabadítani
- Több mutató hivatkozik ugyanarra a területre \Rightarrow elég egyszer törölni
- Nem szabad összemosni: C++-os **new**, **delete** \neq Klasszikus C-s **malloc**, **calloc**, **realloc**, **free**
 - Klasszikus C-s memóriefoglalás: alacsonyszintű, bájtok közvetlen manipulálása memórián (még csak nem is operátorok, hanem függvények a Standard C könyvtárban)
 - C++-os memóriefoglalás: magasabb, objektumszintű, konstruktor és destruktor meghívása (rendes C++ operátorok, ám felül is lehet őket definiálni). Több lépésből állnak.
 - * **new**: 1. Memória lefoglalása 2. Konstruktor meghívása
 - * **delete**: 1. Destruktor meghívása 2. Memória felszabadítása
 - (Megjegyzés: *realloc alternatívája az std::vector használata*)

Konstans mutatók, referenciák

Módosíthatatlanná tehetjük a referenciákat a pointereket és az értékeket is:

(Trükk: Értelmezzük fordított sorrendben a deklarációkat)

```

double d1 = 10, d2 = 50;
double const_reference &d1r = d1;           // konstans referencia
double const * pointer_to_const = &d1;      // mutató konstansra
double * const const_pointer = &d1;         // konstans mutató
// konstans mutató konstans értékre
double const * const const_pointer_to_const_value = &d1;

const_reference = 100;                       // HIBA, az érték nem módosítható
*pointer_to_const = 50;                     // HIBA, az érték nem módosítható
*const_pointer = 50;                        // az érték módosítható
*const_pointer_to_const_value = 50;         // HIBA
pointer_to_const = &d2;                     // átállíthatjuk más memóriacímre
const_pointer = &d2;                         // HIBA, a mutató nem állítható át
const_pointer_to_const_value = &d2;         // HIBA

```

Konstruktor, Destruktor

Típusok mezői is lehetnek mutatók, melyeknek dinamikusan allokalhatunk memóriaterületet. Ezt a *konstruktorban* végezzük.

A törlésről viszont gondoskodnunk kell. Ezt megtehetjük a *destruktorban*

- A destruktor automatikusan lefut, ha a változó törlésre kerül
 - lokális változó \Rightarrow blokk végén automatikusan törlődik
 - dinamikus létrehozás esetén a `delete` váltja ki a destruktor meghívását
- A destruktorban csak a dinamikusan lefoglalt mezőket kell törölni (ha ilyen nincs, akkor a destruktor nem szükséges)
- mindig publikus
- nincs típusa
- nincs paramétere
- nem túlterhelhető

```

class <típus> {
public:
    <typusnév>() { ... } // konstruktor
    ~<típusnév>() { ... } // destruktor
    ...
};

```

Objektumok másolása

Kétféle másolási megközelítés ismert:

- *Sekély másolás (shallow copy)*: A típuspéldány a mezőivel együtt másolásra kerül egy új memóriaterületre. A dinamikusan lefoglalt mezőknek azonban

az értéke nem másolódik (A régi és új példány mutatói ugyanazon területre fognak mutatni.)

- *Mély másolás (deep copy)*: A típuspéldány minden mezőjével és azok által lefoglalt memóriaterülettel együtt kerül másolásra. (A régi és az új példány mutatói nem ugyanazon területre fognak mutatni.)

Példányok másolását két művelet teszi lehetővé: *másoló konstruktor*, *értékadó operátor*

Copy-konstruktor

Egy létező példány alapján újat hoz létre. Paraméterként egy másik (ugyanolyan típusú) példány referenciáját kapja, ennek a mezőit másolja le. (Ha nincs dinamikus tartalom, akkor az alapértelmezett megfelelő.)

- törzsben tud hivatkozni a másolandó példány mezőire
- a következő esetekben fut le:
 - közvetlen hívás: `MyType b(a);`
 - kezdeti értékadás: `MyType b = a;`
 - érték szerinti paraméterátadás

```
class MyType {
    private:
        int* _value;
    public:
        MyType(const MyType& other) { // másoló konstr.
            _value = new int;

            // a dinamikus tartalom létrehozása
            *_value = *other._value; // érték másolása
        }
};
```

Értékadó operátor

A kezdeti értékadást kivéve, amikor a változónak értéket adunk, az értékadó operátor lép érvénybe.

Megkapja a másolandó példány (konstans) referenciáját, és biztosítja tartalmának átmásolását.

- az eddig meglévő, dinamikusan létrehozott értékeket törölni kell
- ellenőrizni kell, hogy a paraméterben kapott változó nem saját maga-e
- a `*this` (aktuális példány) referenciával kell visszatérni (a többszörös értékadás használatához)

```
class MyType {
    public:
```

```

...
MyType& operator=(const MyType& other){
    if (this == &other)
        // ha ugyanazt a példányt kaptuk
        return *this; // nem csinálunk semmit

    *_value = *(other._value);
    // különben a megfelelő módon másolunk
    return *this; // visszaadjuk a referenciát
}
};

```

Paraméterátadás

Ahogy a változókat, úgy a paramétereket is háromféleképpen tudjuk átadni:

- **érték szerint**
- **referenciaként**
- **pointerként**

Az érték szerinti átadás sokszor költséges lehet, mert ekkor a paraméterek másolódnak. A pointer és a referencia közötti döntést pedig az határozza meg, hogy míg a pointerok felvehetik a NULL értéket, addig a referenciák nem.

Tehát a következők szerint érdemes a paraméterátadást használni:

- *érték szerinti*: `f(int x)`
 - a függvény **nem módosíthatja a paramétert**
 - használd ezt, **ha könnyű másolni**
 - Ökölszabály: ha a paraméter mérete legfeljebb 2- vagy 3 szó (word), azaz 32-bit, akkor érdemes érték szerint átadni
 - * egyszerű primitív típusok esetén ajánlott, mint pl.: `int`, `double`, `char`, `bool`, stb.
 - * Komplex típusok, saját osztályok, `std::string` és a különböző STL konténerek nem ajánlottak (továbbiakban ezeket a példákban T-vel jelöljük)
- *pointer szerinti*: `f(T* x)`
 - a függvény **módosíthatja a paramétert**,
 - használd ezt, **ha költséges a másolás**,
 - továbbá ha a **NULL lehet valid érték**
- *konstans pointer szerinti*: `f(const * T x)`
 - a függvény **nem módosíthatja a pointer által mutatott értéket**,
 - használd ezt, **ha költséges a másolás**,
 - továbbá ha a **NULL lehet valid érték**
- *referencia szerinti*: `f(T& x)`
 - a függvény **módosíthatja a paramétert**
 - használd ezt, **ha költséges a másolás**,

- továbbá ha a **NULL NEM lehet valid érték**
- *konstans referencia szerinti*: `f(const int& x)`
 - a függvény **nem módosíthatja a paramétert**,
 - használd ezt, **ha költséges a másolás**
 - továbbá ha a **NULL NEM lehet valid érték**
 - próbáljuk mindig ezt a változatot használni saját osztályokhoz, `std::string`-hez és STL adatszerkezetekhez, ha paramétert nem akarjuk módosítani
 - * copy konstruktorok, copy assignmentek paraméterei

Move-szemantika

A C++-ban értékszemantika van. Ez egy tiszta memóriaterület szeparációt tud eredményezni, de sokszor teljesítményromlást okozhat nagy objektumok másolása esetén.

Tekintsük a következő `Array` implementációt:

```
class Array{
public:
    Array (const Array&);
    Array& operator=(const Array&);
    ~Array ();
private:
    double *val;
};
Array operator+(const Array& lhs, const Array& rhs){
    Array res = lhs;
    res += rhs;
    return res;
}
```

Az `Array` egy osztály, melynek `+` operátora összekonkatenálja a két paramétert és visszaad egy új listát.

A következő függvény meghívásánál azonban több közttes `Array` példány keletkezik és szűnik meg:

```
void f()
{
    Array b, c, d;
    ...
    Array a = b + c + d;
}
```

A move-szemantika az ehhez hasonló problémákra ad megoldást.

- másolás helyett “ellopja” az erőforrást

- törölhető állapotban hagyja a másik objektumot
- teljesítményoptimalizáció, objektum mozgatása másolás nélkül
- objektum birtokosának megváltoztatása (*ownership transfer*)
 - például `std::unique_ptr`-t nem szabad másolni, különben ki lesz az erőforrás birtokosa akinek a scope-jából kimegy?

Ehhez kell:

- overloadolni lehessen a *Copy-konstruktor*t és az *értékadó operátort*, illetve egyéb függvényeket
 - meg kell tartani a backward compatibility-t
 - meg kell különböztetni a bal- és jobbértékeket

RValue, LValue

Korábbi nyelvekben értékadás: `<variable> = <expression>` (pl.: `x = 5`)

C/C++-ban értékadás: `<expression> = <expression>` (pl.: `*++ptr = *++qtr`)

- de nem minden esetben működik, pl.: `a+5 = x` helytelen.

Lvalue:

- kifejezés, mely értékadás után is létezik
- azonosítóval egy memóriaterületre hivatkozik
- minden változó és konstans változó Lvalue
- lehetővé teszi, hogy a `&` operátorral (*Lvalue referencia operátor*) megszerezük annak memóriacímét

Rvalue:

- átmeneti (temporary) kifejezés, ami értékadás után már nem létezik
- van értéke, de nem lehet értéket rendelni hozzá
- literálok (5) és aritmetikai kifejezések Rvalue-k

Rvalue referencia operátor (&&)

A `&&` operátorral lehet kasztolni Lvalue-t Rvalue-vá. (balértékből jobbértéket)

- kikényszeríthetjük a move-szemantika használatát

Példa:

```
struct S
{
    S() { a = ++cnt; std::cout << "S()" << std::endl; }
    S(const S& rhs) { a = rhs.a; std::cout << "copyCtr" << std::endl; }
    S(S&& rhs) { a = rhs.a; std::cout << "moveCtr"<< std::endl; }
    S& operator=(const S& rhs) { a = rhs.a; std::cout << "copy=" << std::endl; return *this; }
    S& operator=(S&& rhs) { a = rhs.a; std::cout << "move=" << std::endl; return *this; }
```

```

    int a ;
    static int cnt;
};
int S::cnt = 0;

int main()
{
    S a, b;
    swap( a, b);
}

```

Move-operátor használata nélkül:

```

template<class T>
void swap(T& a, T& b)
{
    T tmp(a);
    a = b;
    b = tmp;
}

```

Eredmény:

```

S()          // S a
S()          // S b
copyStr      // T tmp(a)
copy=        // a = b
copy=        // b = tmp

```

Move-operátor használatával:

```

template<class T>
void swap(T& a, T& b)
{
    T tmp(std::move(a));
    a = std::move(b);
    b = std::move(tmp);
}

```

Eredmény:

```

S()          // S a
S()          // S b
moveCtr      // T tmp(std::move(a))
move=        // a = std::move(b)
move=        // b = std::move(tmp)

```

Perfect forwarding

- Függvény kapott paraméterének továbbítása egy másik függvény paraméterének
 - úgy, hogy az érték megtartja kategóriáját (Lvalue vagy Rvalue)
- Megvalósítás `std::forward`-al

```
template<class T>
void wrapper(T&& arg)
{
    // arg mindig Lvalue lesz
    foo(std::forward<T>(arg)); // T-től függően arg továbbítása Lvalue- vagy RValue-ként
}
```

Például saját `make_unique` írása (`unique_ptr` nem másolható):

```
template<class T, class U>
std::unique_ptr<T> my_make_unique(U&& u)
{
    return std::unique_ptr<T>(new T(std::forward<U>(u)));
}
```

3. Erőforrásbiztos programozás, RAII, destruktor és szemétgyűjtés

Resource Allocation is Initialization-elv (RAII)

- Erőforrások: fájlok, mutexek, socket-ek
- Erőforrás becsomagolása egy objektumba, ahol
 - Konstruktor: megszerzi, lefoglalja az erőforrást, beállítja az osztály invariánsait
 - Destruktor: elengedi, felszabadítja az erőforrást (nem dob kivételt!)
- Az erőforrás élettartama az azt “becsomagoló” objektum élettartamához, scope-jához kötött
 - Ha az objektum kimegy a scope-ból \implies destruktor automatikusan felszabadítja az erőforrást
 - Szokás ezt az objektumot az erőforrás “birtokosának” is hívni
 - Hasznos kerülni a globális változókat birtokosként, minél inkább lokálisabbra korlátozzuk a scope-ot, annál jobb
- Kivételbiztos (*exception safe*) programozás támogatása

Példák:

- `std::ifstream`, `std::ofstream`
 - Konstruktor: fájl megnyitása
 - Destruktor: fájl lezárása
- `std::string`

- Konstruktor: `char` tömb dinamikus allokációja
- Destruktor: `char` tömb felszabadítását
- STL konténerek
- `std::lock_guard`
 - Konstruktor: kölcsönös kizárás megvalósítása többszálú környezetben, mutex becsomagolása és lock-olása
 - Destruktor: mutex elengedése
- RAII osztály írása hálózati socket-ekhez amik lezárják magukat

Smart pointerek általában

- RAII filzófiát terjesszük ki a memóriára
 - nem memóriában kell gondolkodni
 - memóriát úgy kezeljük, mint általános erőforrást
- `new` elrejtése konstruktorban, `delete` hívása destruktorban amikor smart pointer elhagyja a scope-ot
- Destruktorban automatikusan felszabadítja a becsomagolt objektumot a heap-ről
- Kivételkezelésnél hasznos
 - pre-C++11: mi van ha `new` és `delete` hívása között kivétel keletkezik és `delete` soha nem hívódik meg?
- Felüldefiniált operátorokkal (`*`, `->`) nyers pointer-ként használható
- `get()`: nyers pointer visszaadása

Auto pointer (`std::auto_ptr`)

- Legegyszerűbb smart pointer, ownership-modell alapján kezeli a memóriát
 - `auto_ptr`-t birtokló objektum scope-jához kötött
- Copy konstruktor és copy assignment hívásakor nincs másolás \implies ownership átadása
- Még C++98-ból maradt meg
- Elavult, nem ajánlott
 - STL konténerekkel és algoritmusokkal nem működik jól
 - Tömbökkel nem működik együtt
 - Ownership átadása másoló műveletek felüldefiniálásával nem az igazi
 - Nem lehet tetszőleges deleter-t adni neki

Unique pointer (`std::unique_ptr`)

- `auto_ptr` “javított változata” C++11-től, ajánlott
- STL-el jól működik
- *move-only* típus, nem másolható
 - Copy konstruktora és copy assignment operátora le van tiltva

- Helyette van move konstruktora és move assignment operátora \implies igazi ownership átmozgatás
- Template paraméterként tetszőleges deleter megadása
- Nincs overhead-je, ugyanannyit foglal mint egy nyers pointer
 - kivéve ha deleter-t adunk
- Érdemes `std::make_unique`-al foglalni memóriát
 - C++14-től
 - “No news means good news”: explicit `new` operátor hibát dobhat

Shared pointer (`std::shared_ptr`)

- Megosztott ownership több birtokos objektum között
- Referenciaszámlálót használó pointer
 - scope elhagyásakor számláló csökkentése eggyel
 - amikor az utolsó `shared_ptr` kimegy a scope-ból és a referenciaszámláló nulla lesz: felszabadítás
- `std::make_shared` (C++11-től): mint `std::make_unique`
- Létrehozáskor egy külön memóriaterületen sharing group, control block létrehozása
 - ez a blokk tartalmazza a referenciaszámlálót és a menedzselt objektumot
 - szálbiztos hozzáférés, referenciaszámláló növelésekor lock-olás
 - ezért lassabb `unique_ptr`-nél, ha lehet inkább `unique_ptr`-t érdemes használni (tervezd meg jobban a szoftvered)
 - *(incidens: Java programozók áttértek C++11-re, telerakták `std::shared_ptr`-el az egész programot és lassabban működött mint Java garbage collector-ja)*
- `shared_ptr`-el lábon lőheted magad: ciklikus referenciák \implies memóriaszivárgás. Megoldások:
 - `unique_ptr` használata és ownership mozgatása új birtokosnak
 - `weak_ptr` használata

Weak pointer (`std::weak_ptr`)

- Referencia tárolása objektumra, amit `shared_ptr` már kezel
 - Egyfajta passzív megfigyelő, “observer”
 - Nem birtokol semmit
- Nincs memóriakezelő művelete
- “Ellenszer” ciklikus `shared_ptr` referenciákra
- Ha kell, `shared_ptr`-é konvertálható
- Ha `shared_ptr` törlődik: üres helyre mutat!

Szemétgyűjtés (*Garbage Collection, GC*) Java-ban

(Nem találtam Multiparadigma programozás tananyagában C++ garbage collector-okról szóló részt. Ha mégis kell beszélni valamit róla, akkor a Boehm garbage collector-t érdemes megemlíteni.)

- Java-ban csak allokalni lehet, deallokálás nem megengedett
- Referenciatípusok csak heap-en tárolódnak
- Referenciafajták Java-ban:
 - Strong reference: alapértelmezett referencia, GC nem törölheti
 - Soft reference: ha egy objektumra minden referencia Soft, akkor nem garantált, hogy GC megtartja őket
 - Weak reference: mint Soft, csak GC előbb szabadítja fel
- Szemétgyűjtés: a futtatórendszer időnként detektálja és deallokálja azokat az objektumokat, amik már nem elérhetők, nincs rájuk referencia

Referenciaszámláló szemétgyűjtés (reference counting)

- Minden egyes objektumra számoljuk, hogy hányan hivatkoznak rá
- Gyors, csak a számlálót kell növelni és csökkenteni
 - **new**, allokáció: növelés eggyel
 - referencia megszerzése, hivatkozás az objektumra máshonnan: növelés eggyel
 - referencia elhagyása: csökkentés eggyel
- Ciklikus referenciák esetén viszont nem tud deallokálni, memóriaszivárgás történik (vesd össze: `std::shared_ptr`)

Mark and Sweep szemétgyűjtés

- Megjelöli (mark) az elérhető objektumokat, a jelöletlen objektumokat pedig törli (sweep)
- Gyökérhalmaz (root set): referenciák amik használatban vannak
- Mark and sweep két fázisa:
 1. Mark: gyökérhalmazból indulva a GC bejárja a referenciákat tartalmazó gráfot és megjelöli a használt objektumokat
 2. Sweep: végighalad a jelöletlen objektumokon és törli őket
- Naiv implementáció szünetelteti a programot szemétgyűjtés közben (“stop the world”)

Generációs szemétgyűjtés (Generational)

- Heap több részre, “generációra” van osztva
 1. Fiatal generáció (Young generation)
 2. Idős generáció (Old generation)
 3. Végleges generáció (Permanent generation)
- Minden új objektum a fiatal generációba kerül

- Minor garbage collection: amikor a fiatal generáció megtelik (gyorsabb)
- A fiatal generáció túlélői (survivors) “idősödnek”, egy bizonyos “kor” elérése után pedig bekerülnek az idős generációba
- Major garbage collection: amikor az idős generáció megtelik (lassabb)
- Végleges generáció: JVM metaadatai tárolódnak amik az osztályokat leírják

4. Kivételkezelés, kivételbiztos programozás

Hibakezelés

Hiba: program futása alatt bekövetkezett nemkívánt állapot. Két fajtáját különböztetjük meg:

- Logikai hiba (logic error): a program nem az elvárásnak megfelelő eredményt nyújtja, elő- vagy utófeltétel megsértése
- Futásidejű hiba (runtime error): rendszer állapotától függő hibás végrehajtás vagy megszakítás, mint például memória elfogyása, hibás IO, hibás hálózati kapcsolódás

Hibakezelés alatt a runtime error-okkal foglalkozunk.

Hibakezelés klasszikus C-ben

- függvény visszatérési értékei hibakódok / NULL referencia
- externális **errno** kód
- visszatérési érték vizsgálat, pl.: **fseek**, **int**-et ad, **bool**-ként kezeljük
- hiba flag-ek, pl.: hibaflag beállítódik \Rightarrow többi IO művelet nem csinál semmit
- **assert()**: nem teljesül a feltétel \Rightarrow hibaüzenet, mely a felhasználó számára nemigazán érthető (pl. egy repülőpilótának nem bizalomgerjesztő egy ilyen üzenet: **Assertion failed: Inv() line 64**)
- hibakód változójának paraméterként való átadása referenciaként (klasszikus C-ben pointer)
- struct-al való visszatérés, mely az eredmény mellett tartalmazza a hibakódot is (mintha egy pair-ünk lenne)

Kivételkezelés alapköve C-ben: jump műveletek

- Call-stack állapotát lehet a módszerrel elmenteni/visszaállítani
 - függvényhíváskor \Rightarrow függvény stackframe a stack-re kerül
 - a jump műveletekkel vissza lehet állni a stack-en korábbi állapotra (a bázispointer helyének segítségével)
1. **jmp_buf x**; - reprezentálja az elmentett stack állapotot
 2. **setjmp(x)** - elmenti a stack állapotát, illetve ide ugrik vissza a vezérlés **longjmp** hívása után

3. `longjmp(x, 5)` - kiváltja a stack visszaállítását az `x` által reprezentált állapotba. Mellékel egy hibakódot is, melyet a `setjmp` visszaad.

Használat:

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

jmp_buf x;

void f()
{
    longjmp(x,5);
}

int main()
{
    int i = 0;

    if ( (i = setjmp(x)) == 0 )
    {
        f();
    }
    else
    {
        switch( i )
        {
            case 1:
            case 2:
            default: fprintf( stdout, "error code = %d\n", i); break;
        }
    }
    return 0;
}
```

Érezhetőek a következő megfeleltetések:

- `setjmp` - try
- `longjmp` - throw
- else - catch

Static Assert (C++11)

Fordítási időben kiszámolható boolean kifejezések (`bool_constexpr`) igazságértékét vizsgálja

- ugyanúgy, mint a sima `assert()`, hamis esetben hibát dob, de jelen esetben fordítási hibát.

Kivételkezelés

Kivételkezelés célja

- elválasztani a hiba fellépésének és kezelésének helyét (én detektálhatom a hibát, de másvalaki más modulban tudja mit csináljon vele)
- az adatot típushelyesen tudjuk a hiba fellépési helyétől a handler-hez szállítani
- ne járjon semmilyen extra (kód/idő/hely) hátránnyal, ha nem használjuk
- minden kivételt a megfelelő handler kapja el
- többszálú környezetben is megfelelő
- ha nincs hiba \Rightarrow ne legyen overheadje (vagy legalábbis minimális legyen)
 - if-ek nem jók, mert a folyamatos kiértékelés órajelet emészt
 - kivételek megcsinálhatók úgy, hogy majdnem költségmentesek legyenek

try-catch

```
try {  
    f();  
    // ...  
}  
catch (T1 e1) { /* handler for T1 */ }  
catch (T2 e2) { /* handler for T2 */ }  
catch (T3 e3) { /* handler for T3 */ }
```

- `throw` - bármi dobható, de az értelmes: `std::exception` leszármazottjai
 - Futásidejű hibákhoz: `std::runtime_error`
 - Logikai hibákhoz: `std::logic_error`
- `catch(T e)` - T típusú érték handlerre
 1. Elkapja a kivételt, ha az T típusú
 2. vagy annak leszármazottja
 3. illetve pointer vagy referencia és a hivatkozott értékre fennáll 1) vagy 2)
- Nem szabad `new`-val exception-t létrehozni \Rightarrow memóriaszivárgás

Hierarchia

- Az öröklődést használjuk kivételek csoportosítására
- Az általánosabb handler elkapja a speciálisabb exceptiont
- A `catch` ágak a megadott sorrendben értékelődnek ki
- ezért figyelni kell a handlerok általánosságát és sorrendjét
 - A speciálisabb kerüljön felülre és az általánosabb alulra

Továbbra sem ajánlott `new`-val kivételt létrehozni. Ha a dinamikus típussal akarunk játszani, inkább használjuk a következő megoldást:

```

struct ExceptionBase{
    virtual void raise() { throw *this; }
    virtual ~ExceptionBase() {}
};

struct ExceptionDerived : ExceptionBase{
    virtual void raise() { throw *this; }
};

void foo(ExceptionBase& e){
    e.raise(); // Uses dynamic type of e while raising an exception.
}

int main (void){
    ExceptionDerived e;
    try {
        foo(e);
    }catch (ExceptionDerived& e) {
        ...
    }catch (...) {
        ...
    }
}

```

Kivételkezelés és osztályok

Kérdéses esetek: konstruktor, destruktork

- Konstruktor
 - Ha a konstruktor dob, terület le lett foglalva, de a pointer nem lett beállítva \Rightarrow nincs gond, a rendszer deallokálja
 - De: a konstruktoron belül lefoglalt területet a destruktork tudja felszabadítani. A destruktort viszont nem lehet meghívni mert az objektum létre se jött rendesen \Rightarrow probléma

```

class X
{
    public:
        X(int i) { p = new char[i]; init(); }
        ~X() { delete [] p; } // must not throw exception
    private:
        void init() { ... throw ... } // BAD: destructor won't run !
        char *p; // constructor was not completed
};

```

Ha tagváltozó inicializálása dob hibát, akkor dob a konstruktor is

```
class X
{
    public:
        X() { throw 1; }
};
class Y
{
    public:
        Y()
        try
            : x()
        { }
        catch( ... ) { /* throw; */ }
    private:
        X x;
};
int main(){
    try {
        Y y;
        return 0;
    }
    catch (int i)
    {
        std::cerr << "exception: " << i << std::endl;
    }
}
```

- Destruktor
 - destruktorokat kétféle okból hívunk
 - * nomális esetben
 - * kivételkezeléskor \Rightarrow ha a destruktor is kivételt dob az nem definiált viselkedéshez vezet (legtöbbször a `terminate()` meghívásához)
 - \Rightarrow Ökölszabály: **destruktor nem dobhat kivételt**

Noexcept (C++11)

- Kifejezhető vele, hogy egy kifejezés, függvény biztosan nem dob-e exceptiont
- Fordítási időben értékelődik ki

Kétféle formában létezik:

- operátor forma: `bool noexcept(expr);`
 - Nem értékeli ki a kifejezést (hasonló a `sizeof`-hoz)
 - `false`, ha
 - * a kifejezés dob

- * a kifejesésben van `dynamic_cast`
 - * a kifejesésnek van `type_id`-ja
 - * van a kifejesésben függvény, ami nem `noexcept(true)` és nem `constexpr`
 - `true` különben
 - specifier forma: `void f() noexcept(expr) { }`
 - a régi `throw()` helyett van
 - pl.: Ha `g()` nem dob, akkor `f()` sem:
- ```
template <typename T>
void f() noexcept (noexcept(T::g()))
{
 g();
}
```

Magyarázat: `noexcept( T::g() )` - operátor formás `noexcept`, megmondja, hogy `g()` dob-e exception-t

- Ha igen, akkor `void f() noexcept(false)` lesz fordítás után
- Ha nem dob, akkor `void f() noexcept(true)` fordítás után
- tehát ha `g()` nem dob, akkor `f()` sem

## 5. A konkurens programozás alapelemei Javában és C++-ban

### Problémák a C++98 memóriamodellel

- Egyszálas vezérlésre tervezték
- Fordító kioptimalizálhat változókat, még `volatile` esetén is (az a kulcsszó is egyszálasra tervezett)
- Légből kapott értékeket kaphatunk

### C++11 memóriamodell

- Új memóriamodell, standard könyvtár-beli támogatás szálkezelésre, szinkronizációra és atomikus műveletekre
- Rendszer garantálja, hogy a párhuzamos végrehajtás szekvenciálisan konzisztens lesz

### Hogyan írjunk szálbiztos Singleton-t C++11-től?

C++11 memóriamodellje már garantálja, hogy lokális statikus változók szálbiztosan jönnek létre

```

class Singleton // Meyers Singleton, nevét Scott Meyers-ről kapta
{
public:
 Singleton(const Singleton&) = delete;
 Singleton(Singleton&&) = delete;
 Singleton& operator=(const Singleton&) = delete;
 Singleton& operator=(Singleton&&) = delete;
 static Singleton& getInstance() const
 {
 return _instance;
 }
private:
 Singleton() {}
 static Singleton _instance;
};

```

#### `std::thread`

- Konstruktórába függvénynevet, függvénypointert, funktort vagy lambdát adhatunk
  - továbbá függvények paramétereit
- Konstruktórhívás után új szál indít, paraméterként kapott függvényt az új számban hajtja végre
- `thread.join()`
  - Hívó szál blokkolja, amíg a létrehozott szál nem végez
  - Ha függvény végzett és a szál destruktora meghívódott `join()` nélkül: `std::system_error` kivételt dob
  - Írhatunk akár egy saját RAI-elvű `scoped_thread` osztályt, ami becsomagolja `std::thread`-et és destruktórában meghívja `join()`-t
- `thread.detach()`
  - Megengedi hogy “leváljon” a száltól aki létrehozta
  - Ne várja meg a főszál, míg a detach-elt szál befejeződjön, függetlenül hajtódik végre
  - detach-elt szál futása végén felszabadítja erőforrásait és nem dob `std::system_error`-t

#### `std::mutex`

- Szinkronizációt segítő, kölcsönös kizárást megvalósító objektum amit a szál birtokol
- Műveletei:
  - `lock()`: lezárás, más szál nem enged a kölcsönösen kizárt régióba. Szál blokkol amíg nem sikerül megkapnia
  - `unlock()`: elengedés, más szál lefoglalhatja a mutexet

- `try_lock()`: mint `lock()`, de sikertelen lock-olás esetén csak `false`-al tér vissza
- Változatai:
  - `std::recursive_mutex`: a mutex birtokosa nem fogja saját magát blokkolni ha újra lefoglalja a mutexet
  - `std::timed_mutex`: megadható hogy amikor lock-olni akar, akkor mennyi ideig próbálkozzon

#### `std::lock_guard`

- RAI-csomagoló mutex számára
  - konstruktorban lezárja a mutexet
  - scope-ot elhagyva destruktorkban elengedi a mutexet
- Nem másolható
  - `std::unique_lock`: csak move-olható

#### `std::atomic<T>`

- Csomagoló, a becsomagolt változóban atomikus írási és olvasási műveletek
- Nem kell állandóan `mutex.lock()/mutex.unlock()`-okat írni eléréséhez, csökkenti a boilerplate kódot
- Műveletei:
  - `store()` (atomikus írás)
  - `load()` (atomikus olvasás)

#### Párhuzamos programozás C++-ban (`std::async`, `std::future`, `std::promise`)

- `std::async`
  - Elindít egy aszinkron számítást új szálon
  - Eredményét `future`-be írja
  - Hiba esetén kivételobjektumot ír a `future`-be
- `std::future`
  - Csak olvasható
  - `get()`-el kapjuk meg az eredményt és addig blokkolja a vezérlést, amíg meg nem kapjuk

```
std::future<int> myfuture = std::async(std::launch::async, myfunction);
```

```
// ...
```

```
int x = myfuture.get() // Blokkolni fog amíg std::async-ből
 // indított szál nem végez és nincs eredmény
```

- `std::promise`
  - Egy külön szál írhatja
  - `future` készíthető belőle `promise.get_future()`-el
  - `promise` és `future` egy csatornát alkot, illetve termelő-fogyasztó munkamenet szimulálható
    - \* `promise`: író (termelő)
    - \* `future`: olvasó (fogyasztó)

## Konkurens és párhuzamos programozás Java-ban

### Szálak:

- Támogató osztály: `java.lang.Thread`
- Mindkét esetben a `run()` metódust kell felüldefiniálni
- Szál létrehozása:
  1. Saját szál származtatása a `Thread` osztályból: `new HelloThread().start()`
  2. `Runnable` interfészt megvalósító osztály létrehozása és `Thread` konstruktor paramétereként adása: `new Thread(new HelloRunnable()).start()`
- Szálak lehetséges életciklusa:
  1. Létrejött (created)
  2. Futtatható (runnable)
  3. Futó (running)
  4. Blokkolt (blocked)
  5. Végetért (terminated)

### Alapvető szinkronizáció:

- `synchronized` metódus:
  - Szál annak az objektum lock-ján zárol, akié maga a `synchronized` metódus.
- `synchronized` blokk:
  - Természetesen nem csak metódusokra implikálható, szinkronizációs blokkot is hozhatunk létre, melynek belsejében adhatjuk meg azokat az utasításokat melyekre kizárólagos hozzáférést szeretnénk biztosítani.
- `volatile` változó:
  - Explicit lock nélküli szinkronizációt biztosít, rákényszerítve a fordítót, hogy mindig olvassa ki a `volatile` változó értékét s így nem fordulhat elő az, hogy elavult (cache-elt) értéket kapjunk.
- Konkurens használatra tervezett adatszerkezetek: `Vector`, `CopyOnWriteArrayList`, stb.
- Szinkronizációs osztályok: `Latch`, `Semaphore`, `Barrier`

### Párhuzamos programozás



- **Future:** interfész, aszinkron számítás eredményét reprezentálja (mint C++11-ben az `std::future`)
  - Eredményt `get()`-el kaphatjuk meg, mely addig blokkolódik, míg meg nem kapja az eredményt.
  - Alapimplementációja `FutureTask`
- **Executor**
  - **Executor** egy szálat több `Runnable` objektum végrehajtására tud felhasználni. Elosztja a beérkező feladatokat egy pool-ban lévő szálak között.
  - **ExecutorService** egy kiterjesztése az **Executor**-nak. A taszkok beküldésekor (`submit()`) nem csak `Runnable`-t, hanem `Callable`-t is elfogad, ez `Future`-t tud visszaadni.

## 6. További források

- <http://aszt.inf.elte.hu/~gsd/multiparadigm/>
- <https://isocpp.org/faq>
- [http://thbecker.net/articles/rvalue\\_references/section\\_01.html](http://thbecker.net/articles/rvalue_references/section_01.html)
- <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/>
- <http://www.cplusplus.com/articles/z6vU7k9E/>
- [http://people.inf.elte.hu/groberto/elte\\_amp/eloadas\\_anyagok/elte\\_amp\\_ea09\\_eml.pdf](http://people.inf.elte.hu/groberto/elte_amp/eloadas_anyagok/elte_amp_ea09_eml.pdf)
- [http://people.inf.elte.hu/groberto/elte\\_amp/eloadas\\_anyagok/elte\\_amp\\_ea10\\_eml.pdf](http://people.inf.elte.hu/groberto/elte_amp/eloadas_anyagok/elte_amp_ea10_eml.pdf)
- <https://isocpp.org/wiki/faq/value-vs-ref-semantics>
- [http://en.cppreference.com/w/cpp/language/copy\\_elision](http://en.cppreference.com/w/cpp/language/copy_elision)
- [http://aszt.inf.elte.hu/~gsd/multiparadigm/3\\_ptr\\_ref/ptrref4.cpp.html](http://aszt.inf.elte.hu/~gsd/multiparadigm/3_ptr_ref/ptrref4.cpp.html)
- <https://docs.microsoft.com/en-us/cpp/cpp/lvalues-and-rvalues-visual-cpp>
- <https://github.com/AnthonyCalandra/modern-cpp-features>
- <http://en.cppreference.com/w/cpp/language/range>
- [https://isocpp.org/wiki/faq/cpp11-library#unique\\_ptr](https://isocpp.org/wiki/faq/cpp11-library#unique_ptr)
- <http://kitlei.web.elte.hu/segedanyagok/foiak/java/en-java-bsc/02object-orientation.pdf>
- <http://www.oracle.com/webfolder/technetwork/tutorials/obe/java/gc01/index.html>