



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PUBLICACIÓ DOCENT

MANUAL DE LABORATORI D'ESIN Sessió 1

AUTOR: Bernardino Casas, Jordi Esteve

ASSIGNATURA: Estructura de la Informació (ESIN)

CURS: Q3

TITULACIONS: Grau en Informàtica

DEPARTAMENT: Ciències de la Computació

ANY: 2020

Vilanova i la Geltrú, 10 de setembre de 2020

1

Exercici

L'objectiu d'aquest exercici és implementar la classe `cj_2enters` que ens permeti representar i manipular conjunts (finites) de parelles d'enters usant memòria estàtica. El fitxer `conjunt_2enters.hpp` amb l'especificació d'aquesta classe es descriu amb detall en la següent subsecció.

Dins del conjunt no importa l'ordre de les parelles i no poden haver-hi parelles repetides. Dins de cada parella d'enters importa l'ordre dels dos enters i es poden repetir els dos enters. Per exemple (els elements del conjunt estan separats amb espais i la parella d'enters amb una coma):

- Els conjunts `[1,1 3,1 1,2]` i `[3,1 1,2 1,1]` són el mateix
- Els conjunts `[1,2]` i `[2,1]` són diferents

Observa com es comporten les operacions d'unió, intersecció i diferència de conjunts amb aquest exemple:

```
A:      [1,1 3,1 1,2]
B:      [1,2]
A ∩ B:  [1,2]
A ∪ B:  [1,1 3,1 1,2]
A - B:  [1,1 3,1]
B - A:  []
```

Bàsicament el que cal fer és:

1. Trobar una representació adequada pels objectes de la classe i escriure els atributs necessaris en la part `private` de la classe (ho farem dins del fitxer `conjunt_2enters.rep` per no tocar el fitxer `conjunt_2enters.hpp` que et donem). També es poden especificar mètodes privats addicionals.
2. Implementar tots els mètodes de la classe els quals manipularan la representació anterior dins del fitxer `conjunt_2enters.cpp`: Cal començar amb una implementació trivial de tots els mètodes i després implementar i provar els diferents

mètodes de mica en mica.

En cas que no tinguis clar el passos a seguir per crear un classe en C++ es recomana llegir el Decàleg (veure l'apèndix B).

Abans de començar a implementar la classe llegeix amb atenció les següents subseccions, en especial els consells finals.

1.1 Especificació

Aquesta és l'especificació de la classe `cj_2enters` descrita en el fitxer `conjunt_2enters.hpp` que et donem i no pots modificar. El pots descarregar del servidor `ubiwan.epsevg.upc.edu` o de la plataforma `jutge.org`:

```
1 class cj_2enters {
2 public:
3
4     // Constructora per defecte. Crea un conjunt buit.
5     cj_2enters ();
6
7     // Les tres grans: Constructora per còpia, destructora, operador d'assignació
8     cj_2enters (const cj_2enters &cj);
9     ~cj_2enters ();
10    cj_2enters& operator=(const cj_2enters &cj);
11
12    // Insereix la parella d'enters pe en el conjunt. No fa res si pe ja pertanyia al conjunt.
13    void insereix(pair<int, int> pe);
14
15    // Unió, intersecció i diferència de conjunts. Operen modificant el conjunt sobre el
16    // que s'aplica el mètode, usant el segon conjunt com argument. P.e.: a.restar(b) fa
17    // que el nou valor d'a sigui A - B, on A i B són els valors originals dels objectes a i b.
18    void unir(const cj_2enters& B);
19    void intersectar(const cj_2enters& B);
20    void restar(const cj_2enters& B);
21
22    // Unió, intersecció i diferència de conjunts. Operen creant un nou conjunt sense
23    // modificar el conjunt sobre el que s'aplica el mètode. La suma de conjunts
24    // correspon a la unió, la resta a la diferència i el producte a la intersecció.
25    cj_2enters operator+(const cj_2enters& B) const;
26    cj_2enters operator*(const cj_2enters& B) const;
27    cj_2enters operator-(const cj_2enters& B) const;
28
29    // Retorna cert si i només si pe pertany al conjunt.
30    bool conte(pair<int, int> pe) const;
31
```

```

32 // Retornen els elements màxim i mínim del conjunt, respectivament.
33 // El seu comportament no està definit si el conjunt és buit.
34 // pe1 és major que pe2 si el 1er enter de pe1 és major que el 1er enter de pe2. En cas
35 // que siguin iguals, si el 2on enter de pe1 és major que el 2on enter de pe2.
36 pair<int, int> max() const;
37 pair<int, int> min() const;
38
39 // Retorna el nombre d'elements (la cardinalitat) del conjunt.
40 int card() const;
41
42 // Operadors relacionals. == retorna cert si i només si els dos conjunts
43 // (el paràmetre implícit i B) contenen els mateixos elements;
44 // != retorna cert si i només si els conjunts són diferents.
45 bool operator==(const cj_2enters& B) const;
46 bool operator!=(const cj_2enters& B) const;
47
48 // Imprimeix el conjunt de parelles d'enters, ordenats en ordre ascendent, sobre
49 // el canal de sortida os; el format és [pe1 pe2 ... pen], és a dir, amb
50 // espais entre els elements i tancant la seqüència amb claudàtors.
51 // Els dos enters de la parella d'enters estan separats amb una coma.
52 void print(ostream& os) const;
53
54 private:
55     // Cal definir els atributs i mètodes privats dins del fitxer .rep
56     #include "conjunt_2enters.rep"
57 };

```

Si treballes amb portàtil o amb el PC de casa teva, pots accedir remotament al servidor ubiwan de l'escola on tens el mateix entorn que en els PCs de les aules informàtiques. Ho pots fer executant la següent comanda en una terminal, on usuari és el teu usuari de linux (habitualment el teu DNI canviant el primer número per una lletra):

```
ssh usuari@ubiwan.epsevg.upc.edu
```

Recorda que a la carpeta /home/public/esin hi ha tot el material del laboratori de l'assignatura ESIN.

Si prefereixes copiar tots els fitxers d'ESIN del servidor ubiwan en el teu portàtil o PC, ho pots fer executant la següent comanda en el teu PC:

```
scp -r usuari@ubiwan.epsevg.upc.edu:/home/public/esin/* .
```

1.2 Implementació i testeig

Un cop completada la part privada de la classe `cj_2enters` en el fitxer `conjunt_2enters.rep` i implementats els mètodes públics i privats en el fitxer `conjunt_2enters.cpp` caldria fer un programa principal en el fitxer `main.cpp` que crei alguns objectes de la classe `cj_2enters`, insereixi dades i testegi els diferents mètodes aplicant-los sobre aquests objectes. Després compilar, linkar i testejar.

Per facilitar tots aquest passos, dins del curs ESIN (Vilanova) de jutge.org us hem creat el problema "Classe conjunt de parelles d'enters" ([X58659](#)) on només cal enviar l'especificació privada i la implementació de la classe `cj_2enters`. Degut a que jutge.org només permet l'enviament d'un fitxer amb la solució del problema, cal enviar els fitxers `conjunt_2enters.rep` i `conjunt_2enters.cpp` comprimits en un sol fitxer `.tar`. Ho pots fer amb la comanda:

```
tar cvf solution.tar conjunt_2enters.rep conjunt_2enters.cpp
```

i enviar a jutge.org el fitxer `solution.tar`.

Aquest problema "Classe conjunt de parelles d'enters" ja disposa d'un programa principal, d'un fitxer `Makefile` i de jocs de prova públics i privats que automatitza la feina de testeig. Un cop enviïs la teva solució, jutge.org farà la compilació i linkat de tot i testearà que passin tots els jocs de prova.

També et pots descarregar des de jutge.org l'enunciat del problema amb format PDF, els jocs de prova públics i els fitxers públics addicionals del problema, en aquest cas `conjunt_2enters.hpp`, `main.cpp` i `Makefile`. Això et permet compilar i linkar el problema en el teu PC usant la comanda `make` i provar els jocs de prova públics abans de pujar-lo a jutge.org. Per exemple, amb aquestes comandes compilem i linkem i provem si passa els dos jocs de prova públics (comparem la sortida del programa amb la correcta dels fitxers `.cor` usant la comanda `diff`):

```
make
./program.exe < sample-1.inp | diff - sample-1.cor
./program.exe < sample-2.inp | diff - sample-2.cor
```

Recorda que implementarem el conjunt de parelles d'enters usant memòria estàtica (tots els elements del conjunt de parelles d'enters estaran guardats en posicions de memòria consecutives, típicament en un array o vector de C++). Et pots inspirar en les implementacions de piles i cues amb un array que trobaràs en el "Tema 3. Estructures lineals estàtiques" de teoria. No es poden usar les classes `stack`, `queue`, `list` o `set` de la STL. I tampoc podràs usar la classe `vector` doncs no s'inclou en el fitxer `conjunt_2enters.hpp` proporcionat.

Envia la solució a jutge.org amb l'anotació "Fet amb memòria estàtica" perquè el professor sàpiga quina versió mirar quan te la corregeixi.

1.3 Consells

Els primers mètodes que hauries d'implementar són la constructora de conjunt buit, `insereix`, `conte` i `print`, per tal de provar interactivament que la creació, inserció i impressió dels conjunts funciona. Després els mètodes `max`, `min` i `card` i així ja podries testejar el primer joc de prova públic `sample-1`. Finalment implementa la resta de mètodes i testeges el segon joc de prova públic `sample-2`.

Si a la teva versió de `cj_2enters` amb memòria estàtica has definit un límit en el màxim nombre d'element del conjunt, segurament no passarà els jocs de prova privats on hi ha casos amb conjunts molt grans (a no ser que el límit `MAXSIZE` el defineixis amb un valor d'almenys 10000 elements).

Si els mètodes d'unir, intersectar, restar, igualtat i diferència no es programen de forma eficient (cost lineal) tampoc passaran els jocs de prova privats degut a un excés en el temps d'execució. Per tant has de calcular el cost temporal que té cadascun dels mètodes que has implementat i, en cas que sigui pitjor que un cost lineal, caldrà pensar com millorar la implementació, potser retocant com es guarden els elements del conjunt d'enters en la memòria estàtica per tal de reduir el nombre de comparacions entre elements dels conjunts.

Alguns mètodes com `max`, `min` i `print` tenen en compte l'ordre de les parelles d'enters del conjunt. Si hem de comparar dos parelles d'enters `pe1` i `pe2`, `pe1` és major que `pe2` si el 1er enter de `pe1` és major que el 1er enter de `pe2`; en cas que siguin iguals, si el 2on enter de `pe1` és major que el 2on enter de `pe2`.



Punters, pas de paràmetres i taules

A.1 Punters

En temps d'execució, la declaració d'una variable de cert tipus implica la reserva d'un espai de memòria per valors d'aquest tipus. Aquesta reserva de memòria comença en una direcció de memòria concreta.

Tenint en compte això:

- L'operador `&` sobre una variable retorna la direcció on comença l'espai reservat per aquesta variable.
- La direcció d'una variable és del tipus associat T^* . A una variable del tipus T^* se l'anomena tipus **punter** a T i pot contenir direccions de variables del tipus T .
- L'operador `*` aplicat a un punter permet accedir a la informació d'aquest punter.

Per veure un exemple d'ús de punters veure la figura [A.1](#).

```
1 int x, z;  
2 int *y;  
3  
4 x = 12;  
5 y = &x; // p.e. la direcció de x pot ser 6240fa102  
6 z = *y; // z valdrà 12 (el mateix que x)  
7  
8 *y = 1480; // x valdrà 1480  
9 y = x+z; // ara y tindrà una direcció incorrecta: 1492
```

Un punter que no apunta a cap lloc s'anomena *punter nul* i el seu valor és 0 ($\equiv \text{NULL}$). Si p és un punter nul llavors $*p$ no està definit, i en general provoca un error d'execució immediat (tipus *Segmentation fault*), però tot dependrà del sistema. En qualsevol cas és un error greu.

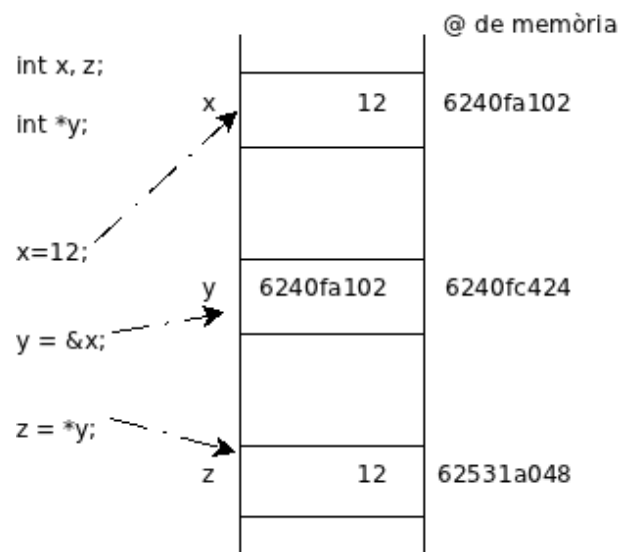


Figura A.1: Exemple gràfic de l'ús de punters.

```

1 char *p;
2 char c = 'b';
3 *p = 'a'; // ERROR! p no està inicialitzat, pot apuntar a qualsevol lloc!
4 p = 0;    // p és nul
5 p = &c;   // p apunta a c
6 *p = 0;   // c conté un caràcter amb codi ASCII 0

```

Es poden declarar punters genèrics del tipus `void*`. Aquests punters poden apuntar a qualsevol cosa:

```

1 int x;
2 float y;
3 void *g = &x;
4 ...
5 g = &y;

```

Convé evitar el seu ús, ja que són una font d'errors molt difícil de corregir. El seu ús ha de quedar restringit a funcions de molt baix nivell.

A.2 Referències

Una referència és un nom alternatiu a una variable ja declarada, és a dir, un alias. Una referència d'una variable de tipus `T` és de tipus `T&`.

Tota referència cal que sigui inicialitzada en la seva declaració excepte quan la referència és un paràmetre d'una funció. En aquest darrer cas la referència s'inicialitza automàticament quan s'invoca la funció i s'efectua el pas de paràmetres.

```

1 char a;
2 char& b = a;

```

El valor d'una referència no es pot canviar. Només es pot canviar el valor a la que es refereix la referència.

```

1 a = 'Z';
2 b = 'X'; // a ara val 'X'

```

La direcció d'una referència és la mateixa de la variable a la qual es refereix.

Les referències estan implementades mitjançant punters, però no disposen de les operacions sobre punters.

A.3 Pas de paràmetres

Els paràmetres de sortida i d'entrada/sortida s'especifiquen mitjançant l'ús de referències, és a dir, amb el *pas de paràmetres per referència* on:

- Paràmetre formal: `T& identificador`
- Paràmetre actual: `variable`

Per altra banda, els paràmetres d'entrada es poden especificar de tres maneres diferents:

1. *Pas de paràmetre per valor*: el paràmetre formal es comporta com una variable local de la funció, inicialitzada amb el valor del paràmetre actual (s'usa el constructor per còpia del tipus T):
 - Paràmetre formal: `T identificador`
 - Paràmetre actual: `expressió`
2. *Pas de paràmetre per valor constant*: el paràmetre formal es comporta com una constant local de la funció, inicialitzada amb el valor del paràmetre actual (s'usa el constructor per còpia del tipus T):
 - Paràmetre formal: `const T identificador`
 - Paràmetre actual: `expressió`
3. *Pas de paràmetre per referència constant*: el paràmetre formal és una referència al paràmetre actual (NO es fa cap còpia) però el paràmetre formal no es pot modificar:
 - Paràmetre formal: `const T& identificador`
 - Paràmetre actual: `variable`



Es recomana el **pas de paràmetres per valor** (`T x`, `const T x`) pels paràmetres elementals predefinitos (`int`, `char`, `bool`, ...). En canvi, pels paràmetres d'entrada que siguin objectes "compostos" és preferible el **pas de paràmetres per referència constant** (`const T& x`) per així evitar fer còpies costoses.

El qualificatiu `const` permet que el compilador detecti errors en els que es modifica inadvertidament un paràmetre d'entrada. Això no seria un problema si usem pas per valor (`T x`), ja que treballem amb una còpia, però és un problema molt seriós si usem pas per referència, doncs la funció treballa amb el paràmetre actual (simplement se li dóna un altre nom o alias per referir-se a ell).

Els següents exemples permeten apronfundir en el mecanisme de pas de paràmetres:

Exemple 1) Què s'escriurà per pantalla quan s'executi el següent codi?

```

1 void proc(int x) {
2     cout << x << endl;
3     x = 14;
4     cout << x << endl;
5 }
6
7 int main() {
8     int a = 10;
9     cout << a << endl;
10    proc (a);
11    cout << a << endl; // a no ha canviat el seu valor
12 }
```

Exemple 2) I si afegim `&` al paràmetre de l'acció `proc`? Què passaria?

```

1 void proc(int &x) {
2     cout << x << endl;
3     x = 14;
4     cout << x << endl;
5 }
6
7 int main() {
8     int a = 10;
9     cout << a << endl;
10    proc (a);
11    cout << a << endl; // a val 14
12 }
```

Exemple 3) I si la capçalera de l'acció `proc` fos aquesta:

```

1 void proc (const int &x) {
2     ...
```

```
3 }
```

Què passaria?

```
1 void proc(const int &x) {
2     cout << x << endl;
3     x = 14;
4     cout << x << endl;
5 }
6
7 int main() {
8     int a = 10;
9     cout << a << endl;
10    proc (a);
11    cout << a << endl; // ERROR de compilació
12 }
```

Els paràmetres de sortida o d'entrada/sortida poden ser simulats mitjançant l'ús de punters a l'estil de C. Fer-ho d'aquesta manera no és recomanable.

A.4 Retorn de resultats

Una funció pot retornar els seus resultats per còpia, per referència o per referència constant:

tipus funcio(llista_params_formals)

on *tipus* és el nom d'un tipus (`T` o `void`), una referència (`T&`), o una referència constant (`const T&`).

```
1 int f1(int x) {
2     return x;
3 }
4
5 int f2(int& x) {
6     return x;
7 }
8
9 int& f3(int& x) {
10    return x;
11 }
12
13 int& f4(int x) { // MALAMENT!!
14    return x;
```

```

15 }
16
17 void f() {
18     int w = 10;
19
20     int y = f1(w);
21     // Amb aquesta crida es generen 3 còpies del valor w:
22     // w → x, x → resultat, resultat → y
23
24     int z = f2(w);
25     // El paràmetre formal necessàriament ha de ser una variable.
26     // Es generen 2 còpies del valor w:
27     // w = x → resultat, resultat → z
28
29     int u = f3(w);
30     // genera 1 còpia: w = x = resultat → u
31 }

```



Una funció mai ha de retornar un punter o una referència a una variable local o a un paràmetre donat que són destruïts en sortir de la funció.

El compilador detecta la major part d'errors com els que mostrem a continuació si activem els flags adequats. Però, a vegades no són detectats i els errors es produeixen en temps d'execució.

```

1 float* calcula(int x, const float y) {
2     float z = 0.0;
3     while (x > 0) {
4         z = z + y / x;
5         --x;
6     }
7     return &z;    // ERROR!!
8 }
9
10 float& calcula(int x, const float y) {
11     float z = 0.0;
12     while (x > 0) {
13         z = z + y / x;
14         --x;
15     }
16     return z;    // ERROR!!
17 }

```

A.5 Taules (arrays)

C++ té un constructor de vectors (arrays) predefinit que bàsicament funciona igual que C o Java.

Els arrays (i els punters) solen utilitzar-se com mecanismes de baix nivell per implementar classes. Aquests detalls d'implementació queden amagats a l'usuari, que utilitzarà classes segures (es realitzen les comprovacions que siguin necessàries internament) i no haurà de manipular arrays directament.

A.5.1 Declaració

Per declarar un vector de n elements del tipus T escriurem:

```
T identificador[n];
```

El valor n ha de ser constant o una expressió calculable en temps de compilació. Per crear un *array dinàmic* s'ha d'utilitzar una tècnica diferent (veure la sessió 2).

Els components d'un vector d' n elements s'indexen de 0 fins a $n - 1$.



En C++ no es fa cap comprovació de rang ni estàtica ni en temps d'execució. Donat un array A amb n elements, accedir a $A[i]$, si $i < 0$ ó $i \geq n$ pot provocar un error immediat o tenir conseqüències encara pitjors.

A.5.2 Consulta/Modificació de les taules

Per consultar una de les caselles d'un vector cal indicar el nom del vector i entre corxets el número de la casella.

```
identificador[index];
```

L'*index* està comprès entre $0 \dots \text{numero_elements} - 1$.

Exemple:

```
v[0]  
v[1]  
...  
v[19]
```

o també:

```
v[0] = 15;
```

A.5.3 Connexió entre arrays i punters

La connexió entre arrays i punters en C++ es profunda: un array és de fet un punter constant al primer component del vector: $p \equiv \& p[0]$. En general, $p + i \equiv \& p[i]$.

L'única diferència entre un punter i un array és que un array no pot ser "modificat":

```

1 int p[10];
2 int z[10];
3 int* q = p;
4 for (int i = 0; i < 10; ++i) {
5     p[i] = (i + 1) * 10;
6 }
7 cout << *q << endl;           // imprimeix 10
8 cout << p[2] << endl;          // imprimeix 30
9 cout << *(q + 2) << endl;      // imprimeix 30
10 q[2] = 33;
11 cout << *(p + 2) << endl;     // imprimeix 33
12 q = z; // és correcte
13 p = z; // ERROR! la direcció guardada a p no pot ser modificada

```

Donat que un array és un punter, es pot passar com paràmetre eficientment, però caldrà usar el qualificador `const` per evitar que es facin modificacions accidentals si es tracta d'un paràmetre d'entrada.

Un array només es pot passar per referència o per referència constant (mai es pot passar un array per valor), amb les mateixes regles de pas de paràmetres que en la resta de casos.

El tipus d'un array de T's és, sigui quina sigui la mida, `T* const` o de manera equivalent `T[]`.

No existeixen els arrays multidimensionals. Per crear matrius caldrà usar un array d'arrays.

```
double mat[10][20];
```


B

Decàleg per implementar una classe en C++

Començar a implementar una classe en C++ des de zero pot ser un procés complicat els primers cops que ho feu. En aquest capítol veurem els passos que caldria seguir per tal d'implementar una classe en C++. Per tal d'il·lustrar el procés amb més detall es desenvoluparà un exemple: la classe `IntCell`. El concepte d'aquesta classe és molt senzill, ja que només ens permet emmagatzemar un únic enter dins la classe.

1ª Llei Crear la capçalera de la classe

FER el fitxer de capçalera de la classe (a partir d'ara l'anomenarem **fitxer .HPP**) on apareixen els mètodes (constructors, modificadors i consultors) que permeten actuar sobre una classe.

En el cas de les pràctiques d'ESIN ja disposeu del fitxer capçalera en el [Campus Digital](#)¹. Per tant no l'heu de crear. És a dir, en aquest punt heu de tenir el fitxer capçalera de la classe similar al que es pot veure a la figura [B.1](#).

2ª Llei Pensar la representació

PENSAR la representació interna de la classe.

- ★ La majoria de classes han d'emmagatzemar algun tipus d'informació. O sigui, s'ha de pensar *com guardar aquesta informació*.
- ★ Les possibles representacions d'una classe van des de les més simples (variable, struct, ...) fins a representacions més complicades (taules, arbres, ...).

¹<http://atenea.upc.edu>

```

1 #ifndef _INTCELL_HPP_
2 #define _INTCELL_HPP_
3
4 #include <string>
5
6 class IntCell {
7     public:
8         explicit IntCell(int initialValue=0);
9
10        int read() const;
11        void write(int x);
12        IntCell operator+(const IntCell &ic) const;
13
14    private:
15        // Si la classe fos per una sessió de laboratori la representació s'afegiria aquí.
16
17 };
18 #endif

```

Figura B.1: Exemple: Fitxer *intcell.hpp*

- ★ A l'hora de triar la representació d'una classe s'ha de pensar en l'eficiència esperada de cada una de les operacions.
- ★ Una vegada s'ha decidit quina és la representació adient, és bo escriure-la sobre paper, i així acabar de visualitzar completament les estructures que s'hagin pensat. En el cas de representacions complexes és aconsellable (a més d'escriure l'explicació) fer una *representació gràfica*.

3^a Llei Escriure la representació

ESCRIURE la representació de la classe un cop ja tenim les idees *clares*. La representació interna d'una classe normalment s'escriurà dins el fitxer `.HPP` (a la part privada). A la pràctica de cara a poder corregir les classes de manera automàtica i en alguns exercicis de jutge.org en que el fitxer `.HPP` no es pot modificar, la declararem en un fitxer apart que anomenarem **fitxer .REP**. És a dir:

- *Classes especificades des de zero per nosaltres*: la representació de la classe es posarà en la part privada del fitxer `.HPP`.
- *Exercicis jutge.org i pràctica*: s'ha de crear un fitxer amb el mateix nom de la classe però amb extensió `.REP`. Aquest fitxer s'inclourà automàticament a la part privada del fitxer `.HPP` quan es compili.

La representació de la classe contindrà les variables, structs, tipus, ..., que permetin guardar la informació dels objectes d'aquesta classe. Veure la figura B.2.

És convenient documentar acuradament els fitxers per tal de deixar clar QUÈ s'ha fet i PER QUÈ s'ha fet d'aquesta manera.

```

1 [...]
2 private:
3     // La representació de la classe IntCell està formada per un únic atribut
4     // "_storedValue", on emmagatzemem el valor de la cel·la.
5     int _storedValue;
6 };
7 #endif

```

Figura B.2: Exemple: Fitxer *intcell.rep*

4ª Llei Crear fitxer .CPP

- COPIAR el fitxer .HPP de la classe com a fitxer .CPP (fitxer d'implementació). Aquesta comanda a Linux és la següent:

```
cp fitxer.hpp fitxer.cpp
```

- Tot seguit, hem d'ESBORRAR del fitxer .CPP **TOT** el contingut **menys les capçaleres de les operacions públiques** que hem d'implementar. Observeu la figura B.3 per tenir un exemple del resultat esperat d'aquest pas després d'haver transformat el fitxer capçalera.

```

1 explicit IntCell(int initialValue=0);
2 int read() const;
3 void write(int x);
4 IntCell operator+(const IntCell &ic) const;

```

Figura B.3: Resultat d'aplicar aplicar la 4a llei sobre *intcell.hpp*

5ª Llei Retocar les capçaleres de les operacions

1. INCLOURE davant del nom de cadascuna de les operacions el nom de la classe seguit de l'operador scope (::). Veure la figura B.4.
2. AFEGIR al final del nom del mètode { } i esborrar el ;. Veure la figura B.5.

```

1 explicit IntCell::IntCell(int initialValue=0);
2 int IntCell::read() const;
3 void IntCell::write(int x);
4 IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const;

```

Figura B.4: Fitxer .CPP després del primer pas de la 5^a llei

```

1 explicit IntCell::IntCell(int initialValue=0) { }
2 int IntCell::read() const { }
3 void IntCell::write(int x) { }
4 IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const { }

```

Figura B.5: Fitxer .CPP després del segon pas de la 5^a llei

3. ESBORRAR les inicialitzacions per defecte² (=0, =1, ...) i el modificador `explicit`³ de les capçaleres del .CPP. Veure la figura B.6.

```

1 IntCell::IntCell(int initialValue) { }
2 int IntCell::read() const { }
3 void IntCell::write(int x) { }

```

Figura B.6: Fitxer .CPP després del tercer pas de la 5^a llei

6^a Llei Afegir l'include

INCLOURE al principi del fitxer .CPP un include amb el nom del fitxer .HPP de la classe que estem creant:

```
#include "nom-classe.hpp"
```

El resultat d'aplicar aquesta llei a l'exemple es pot veure en la figura B.7.

²Les inicialitzacions per defecte o també dites paràmetres per defecte especifiquen quin valor ha de prendre un paràmetre en cas que no s'indiqui el seu valor. Els paràmetres per defecte només figuraran en l'especificació de la classe, és a dir, el fitxer .HPP.

³ El modificador `explicit` indica que no es poden aplicar conversions de tipus implícites. Per exemple, si la constructora de la classe `IntCell` estigués declarada amb el modificador `explicit` en aquest cas:

```
IntCell ic;
ic = 37;
```

el compilador donaria un error ja que els tipus no coincideixen. En cas contrari el compilador no es queixaria i l'assignació mitjançant la conversió s'hauria produït. Aquest modificador només pot aparèixer al fitxer .HPP.

```

1 #include "intcell.hpp"
2
3 IntCell::IntCell(int initialValue) { }
4 int IntCell::read() const { }
5 void IntCell::write(int x) { }
6 IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const { }

```

Figura B.7: Fitxer .CPP després de la 6^a llei

7^a Llei Primera compilació

- En aquests moments el fitxer .CPP ha de COMPILAR sense cap error.

```
g++ -c -Wall nom-classe.cpp
```

Sols cal compilar la classe i no cal linkar-la amb un programa principal ja que no farà res. Per tenir més detalls de com es compila/linka en C++ mirar l'**apèndix B** d'aquest manual.

- Quan compilem pot ser que apareguin més d'un *warning* ja que els mètodes de la classe no fan res, i alguns mètodes poden necessitar retornar quelcom.
- Si apareixen *errors* vol dir que hem realitzat algun dels passos malament. Revisar tots els passos.

8^a Llei Implementació incremental

IMPLEMENTAR una operació de la classe. És aconsellable començar per la/les constructora/es per continuar amb les modificadores i acabar amb les consultores. En qualsevol cas és aconsellable implementar una única operació alhora.

9^a Llei Compilar, Linkar i Provar

Sempre després d'acabar d'implementar un mètode cal compilar, i sempre que es pugui provar el seu funcionament. Si ho fem així podrem estalviar-nos que en una compilació ens sortin 300 errors, o que un error de funcionament de la classe estigui a l'operació constructora (al principi de tot).

Per comprovar una classe cal provar-la generalment amb un programa que tingui un **main**. Es pot veure un exemple de programa principal en la figura B.8.

S'ha de compilar el programa principal, i muntar-ho tot (linkar) per generar l'executable.

```
1 #include <iostream>
2 #include "intcell.hpp"
3
4 using namespace std;
5
6 int main () {
7     IntCell icell;
8     cout << icell.read() << endl;
9 }
```

Figura B.8: Fitxer *prog.cpp* per provar la constructora per defecte de la classe IntCell

```
g++ -o nom_executable.e nom-classe1.o nom-classe2.o
```

Un cop s'ha comprovat que l'operació funciona correctament cal tornar a aplicar la 8^a llei amb una altra operació.

10^a Llei Proves globals

Un cop acabada la implementació de totes les operacions de la classe hem de PROVAR-la amb els casos normals i els límits. Es pot veure la implementació acabada de la classe que estem fent servir com a exemple en la figura B.9.

```
1 #include "intcell.hpp"
2
3 IntCell::IntCell(int initialValue) {
4     _storedValue = initialValue;
5 }
6
7 int IntCell::read() const {
8     return _storedValue;
9 }
10
11 void IntCell::write(int x) {
12     _storedValue = x;
13 }
14
15 IntCell IntCell::operator+(const IntCell &ic) const {
16     IntCell nou(_storedValue + ic._storedValue);
17     return nou;
18 }
```

Figura B.9: Fitxer *intcell.cpp* acabat