



# Recuperación de Información Multimedia

## C++ y OpenCV

**CC5213 – Recuperación de Información Multimedia**

Departamento de Ciencias de la Computación

Universidad de Chile

Juan Manuel Barrios – <https://juan.cl/mir/> – 2019



# C++

- Lenguaje multipropósito multiparadigma
- Diferentes estándares:
  - C++98 (o ansi), C++03, **C++11**, C++14, C++17
- ```
g++ -std=c++11 archivo.cpp
```
- Estándares para C:
  - C90 (o ansi), C99, C11
- Diferentes compiladores: g++, cl
- Portabilidad: el mismo software puede compilar y ejecutar en distintas arquitecturas y compiladores



# Tipos Primitivos

- Tipos primitivos y modificadores:
  - bool, char, int, float, double.
  - signed, unsigned, short, long.
  - \* (puntero), & (referencia)
  - const (no puede modificar su valor)
- El tamaño de un primitivo es dependientes de la arquitectura. Ej, int puede ser 4 bytes u 8 bytes.
- Para usar tipos con tamaño conocido se deben usar las definiciones de **stdint.h**:
  - int8\_t, uint8\_t, int32\_t, uint64\_t
- Otros:
  - size\_t se refiere al tamaño de una dirección de memoria
  - wchar\_t se refiere al tamaño de un carácter wide



# C++

- Fue diseñado para que las clases y sus instancias se puedan comportar igual que un tipo primitivo
  - Overload de operadores
  - Manejo de memoria en el stack (RAII)
- **RAII: Resource Acquisition Is Initialization**
  - Objetos son creados y eliminados en el stack
  - Llamadas implícitas a constructores en la declaración de la variable y a destructores al salir del bloque
    - No hay necesidad de usar **new** o **delete**
  - Duplicación de valores en caso de asignación
  - Duplicación al ser argumentos de una función entregados por valor



# Namespaces

- Organización jerárquica de las clases, métodos, constantes.
- El namespace **std** es el utilizado para funciones y objetos de la librería estándar (STL)
  - Ejemplo: **std::string**, **std::map**, **std::cout**, **std::cin**.
- Con la instrucción “`using namespace std`” se puede usar directamente **string**, **map**, **cout**, **cin** y el compilador busca su implementación
  - Usar solo en un .cpp nunca para un header
  - Simplifica el código, pero **no es recomendado** con varios namespaces simultáneamente



# Operadores

- Cada clase pueden redefinir los distintos operadores por medio de funciones como la siguientes:
  - `operator+ ( ... )` (suma: `a+b`)
  - `operator= ( ... )` (asignación: `a=b`)
  - `operator[] ( ... )` (acceso a un elemento: `a[0]`)
  - `operator<< ( ... )` (shift-left: `a << b`)
- Cada operador define los parámetros que puede recibir y el tipo de retorno
- Cuando se usa un operador en el código fuente, el compilador determina si existe una implementación definida dependiendo de los tipos de entrada
- En la STL algunas clases implementan los operadores `>>` y `<<` para los métodos de input/output. Por ej:
  - `std::cout << "hola mundo" << std::endl`

# C++

- Un objeto (por ejemplo **std::string**) se comporta como un tipo primitivo (por ejemplo un **int**).
  - El objeto se elimina al terminar su scope
  - La asignación duplica el objeto


```
int c = 1;  
int d = c;  
d++;  
std::cout << c << std::endl;
```

Imprime "1" (d no modifica c)

```
std::string s = "hola";  
std::string t = s; //duplicacion  
t.insert(3, "and"); //t es mutable  
std::cout << s << std::endl;
```

Imprime "hola" (modificar t no afecta s)

operador de  
asignación



```
std::vector<int> c;  
c.push_back(10);  
std::vector<int> d;  
d = c;  
d.push_back(20);  
std::cout << c.size() << std::endl;
```

Imprime "1" (d no modifica c)



# Objetos, punteros, referencias

## ■ Clase `c`

- Declara variable `c`, crea un objeto tipo Clase (llama al constructor) y lo asigna a `c`
- Para leer atributos y llamar métodos del objeto: `c.val`, `c.f()`
- El objeto es destruido cuando `c` sale de su scope (llama al destructor)
- `c` siempre contiene un objeto (no puede ser *null*)

## ■ Clase `*p`

- Declara un puntero (dirección de memoria) donde se encontrará un objeto Clase
- `p` se puede dejar sin inicializar o ser *nullptr*, *NULL*, *0*
- Para usar el objeto apuntado: `p->val`, `p->f()` (si el puntero es inválido ocurre un segfault)

## ■ Clase `&q`

- Declara una referencia a un objeto tipo Clase
- `q` se debe inicializar con un objeto y no se puede modificar (no puede ser *null*)
- Para usar el objeto apuntado: `q.val`, `q.f()`
- La referencia se elimina al salir del scope (pero no el objeto apuntado)



# Operador Puntero y Referencia

- Existen tres operadores \* & ->
  - No confundir con los tipo de datos! (slide anterior)
  - **&obj** “la dirección de obj”
    - Retorna un puntero al objeto obj
  - **\*ptr** “lo apuntado por ptr”
    - Obtiene el objeto apuntado por ptr
  - **p->nombre** atributo de lo apuntado por p
    - Idéntico a usar **(\*p).nombre**

```
Persona obj; //se crea un objeto
obj.edad = 1;
Persona *p = nullptr; // C++11 (en ANSI se inicializa con 0 o NULL)
p = &obj;
p->edad = 2;
Persona &q = *p;
q.edad = 3;
Persona s; // se crea un nuevo objeto
s = *p; //s copia los atributos de *p
s.edad = 4;
```

# Argumentos by-value

- En una función, todos sus argumentos son pasados por valor (copiados)
  - Es lo natural con los tipos primitivos
  - Puede no ser el comportamiento esperado para objetos

Invoca el constructor por defecto, no se usa ()

```
void noagregar(std::vector<int> d) {  
    d.push_back(20);  
}  
int main(int argc, char **argv) {  
    std::vector<int> c;  
    noagregar(c);  
    noagregar(c);  
    std::cout << c.size() << std::endl;  
}
```

OJO! **d** es un duplicado del argumento (se invoca el constructor de copia)

Imprime "0" (no se modifica **c**)

# Argumentos by-reference

- En una función, al declarar un argumento como referencia & su valor apuntará al objeto mismo que se entregó como parámetro
  - Se puede modificar el argumento
  - Error de compilación si el argumento no es una variable o no se puede modificar

```
void append(std::vector<int> &d) {  
    d.push_back(20);  
}  
int main(int argc, char **argv) {  
    std::vector<int> c;  
    append(c);  
    append(c);  
    std::cout << c.size() << std::endl;  
}
```

Imprime "2"

# Uso de punteros para argumentos

- Es una función, es posible usar punteros como argumentos
  - El puntero mismo se entrega por valor (copiado) pero el objeto apuntado se puede modificar
  - Permite recibir *null* como argumento
  - Enfoque comúnmente usado en Java, pero en C++ se recomienda usar referencias.

```
void append(std::vector<int> *d) {  
    d->push_back(20);  
}  
int main(int argc, char **argv) {  
    std::vector<int> *c = new std::vector<int>();  
    append(c);  
    append(c);  
    std::cout << c->size() << std::endl;  
    delete c;  
}
```

OJO! **d** es duplicado que se crea invocando el constructor de copia

Imprime "2"

# Reglas generales

- Usar by-reference para argumentos “pesados”
  - Cuando sea posible preferir argumentos **const &** que aseguran que no se modificará el parámetro (alternativa eficiente a by-value)
  - Argumentos con **&** requieren que se entregue una variable

```
void imprimir(const std::string &str) {  
    std::cout << str << std::endl;  
}  
imprimir("hola");
```

**const&** significa que no se modifica el objeto referenciado

```
void limpiar(std::string &str) {  
    str.clear();  
}  
std::string s = "hola";  
limpiar(s);  
limpiar("chao"); ←
```

No compila porque “chao” es una constante

- Usar by-value para argumentos “livianos”
  - Un **int** es más rápido ser copiado que obtener una referencia

# Administración de Memoria

- Es posible pedir memoria con **new** o **new[]** y liberar con **delete** o **delete[]**
- Preferir usar objetos en el stack (RAII) o smart pointers `std::unique_ptr` `std::shared_ptr`

```
std::vector<int> *c = new std::vector<int>();  
c->push_back(10);  
std::vector<int> *d = c;  
d->push_back(20);  
std::cout << c->size() << std::endl;  
delete c;
```

Imprime "2"

```
std::vector<int> c;  
c.push_back(10);  
std::vector<int> &d = c;  
d.push_back(20);  
std::cout << c.size() << std::endl;
```

Imprime "2"

No requiere **delete**!  
Imposible que ocurra un  
memory-leak.

# Clases

Área de inicialización de atributos: campo(valor)

Constructor

Destructor  
(usualmente vacío,  
ver “regla de tres”)

Método static se invoca  
Clase::método()

Atributos internos

```
class Complejo {
public:
    Complejo(double real, double imaginario) : a(real), b(imaginario) {
    }
    ~Complejo() {
    }
    void escalar(double s) {
        a *= s;
        b *= s;
    }
    Complejo conjugado() const {
        return Complejo(a, -b);
    }
    void agregar(const Complejo &c) {
        a += c.a;
        b += c.conjugado().b;
    }
    Complejo sumar(const Complejo &c) const {
        return Complejo(a + c.a, b + c.b);
    }
    static Complejo suma(const Complejo &c1, const Complejo &c2) {
        return Complejo(c1.a + c2.a, c1.b + c2.b);
    }
private:
    double a;
    double b;
};

int main(int argc, char **argv) {
    Complejo h(1, 10);
    Complejo i = Complejo::suma(h.conjugado(), Complejo(0, 2));
    i.escalar(2);
    Complejo j = i.sumar(h);
    j.agregar(h.conjugado());
}
```

Este método no modifica el estado interno por lo que puede ser usado por un “const Complejo”

# Templates

- Generación de código durante la compilación en función de parámetros
- Template a nivel de clase y template a nivel de métodos

Template a nivel de clase  
**T** es un tipo por definir

Template a nivel de método  
**H** es un tipo por definir

La clase `Complejo<int>` tendrá  
valores `a` y `b` de tipo entero

El tipo **H** se define en forma  
implícita por el tipo del parámetro

```
template<typename T>
class Complejo {
public:
    Complejo(T real, T imag) : a(real), b(imag) {
    }
    template<typename H>
    void escalar(H s) {
        a *= s;
        b *= s;
    }

private:
    T a;
    T b;
};

int main(int argc, char **argv) {
    Complejo<int> n(1, 1);
    Complejo<double> m(1.5, 2.3);
    m.escalar(2);
}
```





# Standard Template Library (STL)

- Un template es código fuente generado en tiempo de compilación (distinto a los generics de Java)
  - Se crean clases específicas para cada tipo de dato
- `std::vector<T>` y `std::deque<T>`
  - Similar a **ArrayList** y **LinkedList** de Java
  - Operador **vector[posición]** permite usarlos como un array
- `std::map<K, T>` y `std::unordered_map<K, T>`
  - Similar a **TreeMap** y **HashMap** de Java
  - Operador **map[lave]** permite usarlos como un arreglo asociativo
- `std::iostream`
  - **std::cout** similar a **System.out** de Java
  - Operadores `<<` y `>>` son re-implementados para hacer I/O
- `std::sstream`
  - **std::ostringstream** similar a **StringBuilder** de Java (notar que en C++ **std::string** es mutable)

# Declaraciones implícitas

- Cuando se declara esto:

```
class Nada {  
};
```

el compilador declara (e implementa):

```
class Nada {  
public:  
    Nada(); //constructor por defecto  
    Nada(const Nada & otro); //constructor de copia  
    ~Nada(); //destructor  
    Nada &operator=(const Nada & otro); //operador de asignacion  
    Nada *operator&(); //operador de direccion  
    const Nada *operator&() const; //operador de direccion sobre const  
};
```



# Orientación a objetos

## ■ Herencia múltiple, herencia privada y pública.

Un archivo *.hpp* es un header con declaración de métodos, que luego son implementados en un *.cpp*

Figura.hpp

```
class Figura {
public:
    virtual double getArea()=0;
    virtual ~Figura();
};

class Circulo: public Figura {
public:
    Circulo(double radio);
    virtual double getArea();
private:
    double radio;
};
```

Figura.cpp

```
#include <Figura.hpp>
Figura::~~Figura() {
}
Circulo::Circulo(double radio) :
    radio(radio) {
}
double Circulo::getArea() {
    return 3.14 * radio * radio;
}
```

```
Circulo c(1);
std::cout << "A=" << c.getArea() << std::endl;
Figura *f = new Circulo(2);
std::cout << "A=" << f->getArea() << std::endl;
delete f;
```



# Orientación a objetos

- Polimorfismo: existen varias implementaciones de un método y en tiempo de ejecución se decide la implementación a ejecutar
  - Al invocar `getArea()` sobre un objeto tipo `Figura` se puede ejecutar la implementación de `Circulo` o `Cuadrado` dependiendo del objeto
  - En C++ esto se resuelve con una tabla de punteros a funciones
  - **vtable** → Lista de métodos con enlace dinámico
- Los métodos que podrían ser sobre-escritos por una subclase se deben declarar **virtual**
  - El compilador no enlaza directamente al método si no que usa la **vtable**
  - Métodos virtuales sin implementación se declaran con “ = 0 ” (pure virtual)
- Si existe al menos un método **virtual** entonces el destructor también se debe declarar **virtual**



# Duplicar Objetos y Destructor

- En C++ es común que los objetos se dupliquen, por ejemplo en paso by-value o en un `std::vector`
- Si un objeto contiene un puntero que inicializa con **new** y el destructor hace **delete**, al duplicar el objeto se copian todos los atributos (incluido el valor del puntero), y los **destructores** de ambos objetos invocarán **delete** sobre el mismo puntero (seg fault!).
  - Solución 1: Usar siempre smart pointers
    - `std::unique_ptr` evita la duplicación del puntero y hace **delete** junto con el objeto.
    - `std::shared_ptr` lleva un contador de referencias, hace un único **delete** cuando nadie lo apunta (ojo con ref-circulares).
  - Solución 2: Usar **new** y no usar **delete** (asumir un memory-leak)
  - Solución 3: Reimplementar el **destructor**, **constructor de copia** y **operador de asignación** (la “regla de tres”)

# Range-Based For-Loop y Auto

- En C++11 se pueden hacer “foreach” y usar variables de tipo “auto”:

```
std::vector<std::string> lista;  
for (std::string nombre : lista) { //by-value  
    std::cout << nombre << std::endl;  
}  
for (const std::string &nombre : lista) { //by-const-ref  
    std::cout << nombre << std::endl;  
}  
for (const auto &nombre : lista) { //by-const-ref  
    std::cout << nombre << std::endl;  
}
```

```
std::map<std::string, std::string> map;  
for (std::pair<const std::string, std::string> pair : map) { //by-value  
    std::cout << pair.first << "->" << pair.second << std::endl;  
}  
for (const auto &pair : map) { //by-const-ref  
    std::cout << pair.first << "->" << pair.second << std::endl;  
}
```



# Compilación de código C++

- **Paso 1**: Convertir código fuente en código binario
  - Para cada `.cpp` ejecutar:  
`g++ -c -o archivo1.o archivo1.cpp`
  - El compilador lee el fuente en el `.cpp` y resuelve todas las instrucciones `#include <librería.hpp>`
  - Con `-Iruta` se configuran lugares para buscar headers además de `/usr/include/`
  - Agregar `-std=c++11` para usar C++11
  - Agregar `-Wall` para warnings
  - Si el código fuente no tiene problemas se creará un object file `.o` con la versión binaria del fuente.



# Compilación de código C++

## ■ Paso 2: Linkeo para crear ejecutable o librería

- Se reúnen todos los object files y se asocian cada llamada a método con su implementación, ya sea entre object files o con librerías externas (linkage)
- Para un ejecutable, debe existir un método `main()` entre todos los `.o`:  
`g++ -o ejemplo archivo1.o archivo2.o`
- Para una librería (`.so`, `.dll`):  
`g++ -shared -o libejemplo.so archivo1.o archivo2.o`
- Con `-Lruta` se configuran lugares para buscar librerías además de `/usr/lib/`
- Con `-lnombre` se declaran las librerías externas a buscar (se buscará `libnombre.so` en las rutas definidas).





# Compilar código C++

- Es posible compilar y linkear en un solo comando:

```
g++ -o ejemplo -Iidir *.cpp -Ldir -llibrerias
```

- El utilitario **pkg-config** entrega los parámetros de compilación al usar librerías externas

```
pkg-config --cflags libreria1 libreria2
```

```
pkg-config --libs libreria1 libreria2
```

- Usualmente se escribe un archivo *Makefile* con las instrucciones de compilación que luego se ejecuta con el comando **make**



**OPENCV**



# OpenCV

- Software libre, licencia BSD.
- API para lenguajes C, C++, Python, Java.
- Versión 3.4.7 y 4.1.1
- <https://opencv.org/>
- Compatible con Linux, Android, Windows (mingw/cygwin/visual studio)



# OpenCV en C++

- Namespace `cv`
- Tipo `cv::Mat`
  - Objeto con un encabezado con las dimensiones de la imagen y un puntero a los datos de los pixeles
  - Se puede acceder como matriz en la forma (fila,columna) ej:
    - `cv::Mat m;`
    - `m.at<uchar>(y,x)` ← m es 1 canal 8bits (gris)
    - `m.at<cv::Vec3b>(y,x)` ← m es 3 canales 8bits (color)
  - Cuando se copia un `cv::Mat` se duplica el header, pero no los datos
    - Para duplicar la matriz de datos se debe usar `.clone()`



# Reuso de Memoria

## ■ Funciones reciben imagen de entrada y salida

```
threshold(cv::Mat &in, cv::Mat &out, double thresh)
```

- ☐ Si la imagen de salida es vacía se construye su buffer
- ☐ Si la imagen de salida ya existe se reusa el buffer
- ☐ Si la imagen de salida es igual a la de entrada se hace proceso “in-place”

## ■ Documentación (v3.4.7):

[https://docs.opencv.org/3.4.7/d2/de8/group\\_\\_core\\_\\_array.html](https://docs.opencv.org/3.4.7/d2/de8/group__core__array.html)

[https://docs.opencv.org/3.4.7/d7/d1b/group\\_\\_imgproc\\_\\_misc.html](https://docs.opencv.org/3.4.7/d7/d1b/group__imgproc__misc.html)

[https://docs.opencv.org/3.4.7/d8/dfe/classcv\\_1\\_1VideoCapture.html](https://docs.opencv.org/3.4.7/d8/dfe/classcv_1_1VideoCapture.html)



# OpenCV en C++

```
#include <iostream>
#include <opencv2/core/core.hpp>
#include <opencv2/highgui/highgui.hpp>
#include <opencv2/imgproc/imgproc.hpp>
int main(int argc, char** argv) {
    cv::Mat image_color = cv::imread(argv[1], cv::IMREAD_COLOR);
    if (!image_color.data)
        return 0;
    cv::Mat image_gray;
    cv::cvtColor(image_color, image_gray, cv::COLOR_BGR2GRAY);
    cv::Mat image_bin;
    double th = cv::threshold(image_gray, image_bin, 0, 255,
        cv::THRESH_BINARY | cv::THRESH_OTSU);
    std::cout << argv[1] << " threshold: " << th << std::endl;
    cv::imshow("image_color", image_color);
    cv::imshow("image_gray", image_gray);
    cv::imshow("image_bin", image_bin);
    cv::waitKey(0);
    return 0;
}
```

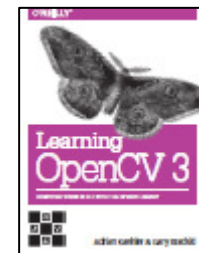
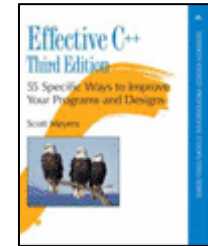
```
g++ -std=gnu++11 -Wall -I[path a includes de opencv]
-o ejemplo1 ejemplo1.cpp
-L[path a libs de opencv] -lopencv_core -lopencv_highgui -lopencv_imgproc
```

# Ejemplo leyendo un video

```
#include <iostream>
#include <opencv2/core/core.hpp>
#include <opencv2/highgui/highgui.hpp>
#include <opencv2/imgproc/imgproc.hpp>
int main(int argc, char **argv) {
    cv::VideoCapture capture;
    std::string filename = argv[1];
    capture.open(filename);
    if (!capture.isOpened()) {
        int id_webcam = std::atoi(argv[1]);
        capture.open(id_webcam);
    }
    if (!capture.isOpened())
        return 1;
    cv::namedWindow("VIDEO", cv::WINDOW_AUTOSIZE);
    cv::Mat frame, gray;
    for (;;) {
        if (!capture.grab() || !capture.retrieve(frame))
            break;
        cv::cvtColor(frame, gray, cv::COLOR_BGR2GRAY);
        gray = 255 - gray;
        cv::imshow("VIDEO", gray);
        char c = cv::waitKey(33);
        if (c == 27) //tecla ESC
            break;
    }
    return 0;
}
```

# Bibliografía

- **Effective C++. Third Edition.** Meyers. 2005.
- **OpenCV 2. Computer Vision Application Programming Cookbook.** Laganière. 2011.
- **Learning OpenCV 3.** Kaehler and Bradski. 2017.





**Days 1 - 10**  
Teach yourself variables, constants, arrays, strings, expressions, statements, functions,...



**Days 11 - 21**  
Teach yourself program flow, pointers, references, classes, objects, inheritance, polymorphism, ....



**Days 22 - 697**  
Do a lot of recreational programming. Have fun hacking but remember to learn from your mistakes.



**Days 698 - 3648**  
Interact with other programmers. Work on programming projects together. Learn from them.



**Days 3649 - 7781**  
Teach yourself advanced theoretical physics and formulate a consistent theory of quantum gravity.



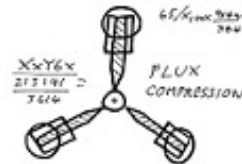
**Days 7782 - 14611**  
Teach yourself biochemistry, molecular biology, genetics,...



**Day 14611**  
Use knowledge of biology to make an age-reversing potion.



**Day 14611**  
Use knowledge of physics to build flux capacitor and go back in time to day 21.



**Day 21**  
Replace younger self.



<http://abstrusegoose.com/249>

As far as I know, this  
is the easiest way to  
"Teach Yourself C++ in 21 Days".