# Algoritmos y Programación II
# TP1: Recursividad

Bourbon, Rodrigo
Carreño Romano, Carlos Germán
Sampayo, Sebastián Lucas

Primer Cuatrimestre de 2015

# Contents

# 1 Objetivos

Ejercitar técnicas de diseño, análisis, e implementación de algoritmos recursivos.

# 2 Introducción

La transformada discreta de Fourier (DFT) es de gran importancia en el análisis, diseño e implementación de algoritmos de procesamiento de señales de tiempo discreto y sistemas. Las propiedades básicas de la transformada se pueden estudiar en cualquiera de los textos de referencia en Señales y Sistemas. Igual de importante es el hecho que existen algoritmos eficientes para el cómputo explícito de la DFT. DFT es idéntico a samplear la transformada de Fourier a frecuencias equiespaciadas. Como consecuencia, el cómputo de la DFT de N puntos corresponde al cómputo de N muestras de la transformada de Fourier en N frecuencias equiespaciadas $\omega_k = 2\pi k/N$, esto es, en N puntos sobre el círculo unitario en el plano z. Existen distintos algoritmos y particularmente los que se estudian en este trabajo son los referidos a una clase particular de algoritmos para el cómputo de la DFT de N puntos. Conjuntamente, estos algoritmos son conocidos como algoritmos fast Fourier Transform (FFT).

## 2.1 Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una operación matemática que transforma una señal de dominio de tiempo a dominio de frecuencia y viceversa. Tiene muchas aplicaciones en la ingeniería, especialmente para la caracterización frecuencial de señales y sistemas lineales. Es decir, la transformada de Fourier se utiliza para conocer las características frecuenciales de las señales y el comportamiento de los sistemas lineales ante estas señales.

### 2.1.1 Transformada discreta de Fourier

Una *DFT* (Transformada de Fourier Discreta - por sus siglas en inglés) es el nombre dado a la transformada de Fourier cuando se aplica a una señal digital (discreta) en vez de una analógica (continua).

### 2.1.2 Transformada rápida de Fourier

Una *FFT* (Transformada Rápida de Fourier - por sus siglas en inglés) es una versión más rápida de la *DFT* que puede ser aplicada cuando el número de mustras de la señal es una potencia de dos. Un cálculo de *FFT* toma aproximadamente $N \log(N)$ operaciones, mientras que *DFT* toma aproximadamente $N^2$ operaciones, así es que la *FFT* es significativamente más rápida.

## 2.2 Relleno con ceros (*zero padding*)

Esto significa que se agregarán ceros al final de la secuencia de valores ingresados. En el presente trabajo se decidió completar con ceros las muestas leídas en la entrada del programa hasta llevarlas a la potencia de dos más cercana. Esta adición no afecta el espectro de frecuencia de la señal y es recomendable ya que se acelera el cálculo de *FFT*. El relleno de ceros también incrementa la resolución de la frecuencia de una *FFT*.

# 3 Standard de estilo

Adoptamos la convención de estilo de código de Google para C++, salvando las siguientes excepciones:

- Streams: utilizamos flujos de entrada y salida
- Sobrecarga de operadores

`https://google-styleguide.googlecode.com/svn/trunk/cppguide.html#Naming`

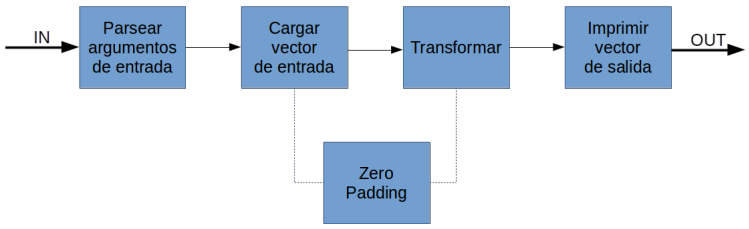



Figure 1: Diagrama en bloques del programa principal.

# 4 Diseño del programa

Para resolver el problema, se optó por un diseño *top-down*, es decir, planteando el algoritmo de alto nivel con un diagrama en bloques. Luego se implementó cada bloque por separado para que cumpla con las necesidades de entrada y salida. Una vez hecho esto, los bloques se interconectan en el programa principal (*main*).

# 5 Opciones del programa

El programa se ejecuta en línea de comandos, y las opciones que admite (sin importar el orden de aparición) son las siguientes:

*nombre largo* (*nombre corto*): *descripción*

- `--input` (`-i`):

  En esta opción se indica un argumento que debe ser la ruta de un archivo del cual queramos leer o bien la opción por defecto "-" que utiliza el flujo de entrada estándar.

- `--output` (`-o`):

  En esta opción se indica un argumento que debe ser la ruta de un archivo en el cual queramos imprimir o bien la opción por defecto "-" que utiliza el flujo de salida estándar.

- `--method` (`-m`):

  En esta opción se indica la acción que se debe realizar sobre los datos de la entrada, estos pueden ser:

  - Transformada discreta de Fourier (`-dft`).
  - Transformada discreta inversa de Fourier (`-idft`).
  - Transformada rápida de Fourier (`-fft`).
  - Transformada rápida inversa de Fourier (`-ifft`).

  Por defecto el programa se ejecuta con la transformada rápida de fourier.

# 6 Métodos de la Transformada

Por definición, las transformadas son:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk}; k = 0, ..., N-1; W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi}{N}} \tag{1}$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{-nk}; k = 0, ..., N-1; W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi}{N}} \tag{2}$$

Como se puede observar, las dos fórmulas tienen la misma forma y difieren en un término $1/N$ y un signo menos en la exponencial, por lo tanto se optó por implementar un código que resuelva la transformación, y mediante

un flag, se opte por aplicar la transformada o la transformada inversa, con el objetivo de evitar la duplicación de código.

Los métodos desarrollados se detallan en los archivos dft_ methods.cc y dft_methods.h. Se implementaron cuatro funciones que reciben como argumentos de entrada un vector de tipo Complex. Los prototipos son los siguientes:

```
Vector<Complex> calculate_dft(Vector<Complex> const &);
Vector<Complex> calculate_idft(Vector<Complex> const &);
Vector<Complex> calculate_fft(Vector<Complex> const &);
Vector<Complex> calculate_ifft(Vector<Complex> const &);
```

Estas funciones, tal como se mencionó, tienen el mismo comportamiento de a pares y son llamadas por las siguientes funciones genéricas que utilizan el flag bool inverse para definir el signo y el factor de división:

```
calculate_fft_generic(Vector<Complex>, bool)
calculate_ifft_generic(Vector<Complex>, bool)
```

luego se invocan los respectivos métodos según sea fft o dft elegido por línea de comandos.

como fue implementado dft y fft, funciones genéricas, máscaras, complejidad temporal, espacial, etc.

## 6.1 FFT

### 6.1.1 Complejidad Temporal

Para estudiar el costo temporal de esta implementación —$T(N)$— se analizó cada línea de código de la función *calculate_fft_generic()*.

Al principio, todas las sentencias son de orden constante hasta que aparece el primer ciclo:

```
1  static Vector<Complex>
2  calculate_fft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
3  {
4    size_t N;
5    N = x.size();
6
7    Vector<Complex> X(N);
8
9    // Por defecto se calcula la FFT con estos parámetros:
10   double factor = 1;
11   int W_phase_sign = -1;
12
13   // En caso de tener que calcular la inversa,
14   // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
15   if (inverse)
16   {
17     factor = 1.0/N;
18     W_phase_sign = 1;
19   }
20
21   if (N > 1)
22   {
23     // Divido el problema en 2:
24     // Suponemos que la entrada es par y potencia de 2
25     Vector<Complex> p(N/2);
26     Vector<Complex> q(N/2);
27     Vector<Complex> P(N/2);
28     Vector<Complex> Q(N/2);
```

Las únicas expresiones que ofrecen cierta duda de que su coste sea constante son las últimas —constructores de N/2 elementos. Sin embargo, al ver la implementación de dicho constructor no quedan dudas, ya que solo consiste en una comparación, una asignación, y una llamada a *new*:

```
template <typename T>
Vector<T>::Vector(int s)
{
  if (s <= 0)
  {
    exit(1);
  }
  else
  {
    size_ = s;
    ptr_ = new T[size_];
  }
}
```

Continuando con la función *calculate_fft_generic()* :

```
    for (size_t i=0; i<N/2; i++)
    {
      p[i] = x[2*i];
      q[i] = x[2*i+1];
    }

    P = calculate_fft(p);
    Q = calculate_fft(q);

    // Combino las soluciones:
    for (size_t k=0; k<N; k++)
    {
      Complex W(cos(k*(2*PI)/N),
                W_phase_sign*sin(k*(2*PI)/N));
      // Para que se repitan los elementos cíclicamente, se utiliza la función
         módulo
      size_t k2 = k % (N/2);

      X[k] = factor * (P[k2] + W*Q[k2]);
    }
  }
  else
  {
    X = x;
  }

  return X;
}
```

Se tiene un ciclo de N/2 iteraciones cuyas operaciones en cada caso son de orden constante, con lo cual el orden de este ciclo es $\mathcal{O}(N/2)$.

A continuación encontramos las llamadas recursivas. Dado que el tamaño de la entrada se reduce a la mitad, tenemos 2 llamadas de coste $T(N/2)$.

Finalmente, se tiene un ciclo de N iteraciones cuyas operaciones en cada caso son de orden constante, produciendo un coste de $\mathcal{O}(N)$. De esta forma, agrupando estos resultados parciales, se puede escribir la

ecuación de recurrencia para este algoritmo:

$$T(N) = \mathcal{O}(1) + \mathcal{O}(N/2) + 2T(N/2) + \mathcal{O}(N)$$
$$T(N) = 1 + N + 2T(N/2)$$

$$\boxed{T(N) = 2T(N/2) + N}$$

Como se puede ver, es posible aplicar el teorema maestro, definiendo:

$$a = 2 \geq 1$$
$$b = 2 > 1$$
$$f(N) = N$$

Utilizando el segundo caso del teorema:

$$\exists\, k \geq 0 \quad / \quad N \,\epsilon\, \Theta(N^{\log_b(a)} \log^k(N))$$
$$\Rightarrow T(N) \,\epsilon\, \Theta(N^{\log_b(a)} \log^{k+1}(N))$$

Es fácil ver que con $k = 0$ dicha condición se cumple, por lo tanto el resultado final es:

$$\boxed{T(N) \,\epsilon\, \Theta(N \log N)}$$

Este resultado es coherente, ya que el algoritmo utiliza la técnica de "divide y vencerás" y la recurrencia es análoga al caso del conocido *MergeSort*.

### 6.1.2 Complejidad Espacial

Para analizar la complejidad espacial, se debe observar qué cantidad de bloques de memoria se requieren en cada instrucción. En el comienzo de la invocación a las funciones *fft* , se pasa como argumento un vector x de tamaño N y se crea otro para la salida X también de tamaño N.

```
static Vector<Complex>
calculate_fft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
{
  size_t N;
  N = x.size();

  Vector<Complex> X(N);
```

Luego se analiza el fragmento de código que corresponde a la resolución del algoritmo. Se hace una división del problema en dos subproblemas de tamaño N/2, y para hacer esto se crean 4 vectores de tamaño N/2 (p,q,P y Q), que van a llevar los datos pares e impares del vector de entrada x:

```
  if (N > 1)
  {
    // Divido el problema en 2:
    // Suponemos que la entrada es par y potencia de 2
    Vector<Complex> p(N/2);
    Vector<Complex> q(N/2);
    Vector<Complex> P(N/2);
    Vector<Complex> Q(N/2);
    for (size_t i=0; i<N/2; i++)
    {
      p[i] = x[2*i];
      q[i] = x[2*i+1];
    }
```

Seguido de esto, se implementa la recurrencia para p y q, con dos llamadas a *fft* de tamaño N/2:

```
    P = calculate_fft(p);
    Q = calculate_fft(q);
```

y por último la combinación de los subproblemas requiere únicamente de la creación de una variable de tipo complex en cada iteración del ciclo de tamaño N:

```
    // Combino las soluciones:
    for (size_t k=0; k<N; k++)
    {
      Complex W(cos(k*(2*PI)/N),
                W_phase_sign*sin(k*(2*PI)/N));
      // Para que se repitan los elementos cíclicamente, se utiliza la función módulo
      size_t k2 = k % (N/2);

      X[k] = factor * (P[k2] + W*Q[k2]);
    }
  }
```

En el punto de la recursión en P y Q hace falta detenerse y deducir que esta recursividad se va a detener en el momento que N=1, y el tamaño total en memoria va a estar dado por todos los bloques requeridos en cada operación. Esto es:

- en cada llamada recursiva de tamaño N se crean 2 vectores de tamaño N y 4 vectores de tamaño N/2;
- 2 de los subvectores de tamaño N/2 invocan a fft nuevamente, resultando en la creación de otros 2 vectores de tamaño N/2 y otros 4 de tamaño (N/2)/2
- en total habrá i llamadas recursivas, de modo tal que $N/2^i = 1$, o bien, $i = log_2 N$
- como por cada recursión hay un total de bloques de memoria requeridos igual a:

$$memoria = 2 \cdot \frac{N}{2} + 4 \cdot \frac{N/2}{2} = 4N$$

para un total de $i = log_2 N$ veces resulta:

$$memoria = i \cdot 4N = log_2 N \cdot 4N = 4N log_2 N$$

por lo tanto, se deduce que el orden de la complejidad espacial es de orden

$$\boxed{\Theta(N \cdot logN)}$$

## 6.2 DFT

### 6.2.1 Complejidad Temporal

Para estudiar el costo temporal de esta implementación —$T(N)$— se analizó cada línea de código de la función *calculate_dft_generic()*.

Al principio, todas las sentencias son de orden constante hasta que aparece el primer ciclo de N iteraciones. Dentro de este hay otro cilco de N iteraciones y 2 sentencias de orden constante, mientras que en el ciclo anidado hay una llamada a una funcion recursiva (*pow_Complex*):

```
1 static Vector<Complex>
2 calculate_dft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
3 {
4   Complex aux;
```

```
    size_t N;

   N = x.size();

   // Por defecto se calcula la DFT con estos parámetros:
   double factor = 1;
   int W_phase_sign = -1;

   // En caso de tener que calcular la inversa,
   // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
   if (inverse)
   {
     factor = 1.0/N;
     W_phase_sign = 1;
   }

   Vector<Complex> X(N);

   Complex W(cos((2*PI)/N),
             W_phase_sign*sin((2*PI)/N));

   for(size_t k=0;k<N;k++) {
     for(size_t n=0;n<N;n++) {
       aux += x[n] * pow_complex(W, n*k);
     }
     X[k] = factor * aux;
     aux = 0;
   }
   return X;
}
```

Analizamos el coste temporal —$T_p(p)$— de la función (*pow_Complex*):

```
Complex
pow_complex(Complex const &z, size_t p)
{
   if(!p) return 1;

   if(p == 1){
     return z;
   }
   else{
     Complex aux = pow_complex(z, p/2);
     if(!(p%2))
         return aux * aux;
       else
         return aux * aux * z;
   }
}
```

Se observa que todas las operaciones son de orden constante $\mathcal{O}(1)$ y a continuación se tiene una llamada recursiva. Dado que el tamaño del problema se reduce a la mitad, tenemos 1 llamada de coste $T_p(p/2)$ Agrupando estos resultados, se puede escribir la ecuación de recurrencia para este algoritmo:

$$T_p(p) = \mathcal{O}(1) + T_p(p/2)$$

$$\boxed{T_p(p) = T_p(p/2) + 1}$$

Como se puede ver, es posible aplicar el teorema maestro, definiendo:

$$a = 1 \geq 1$$
$$b = 2 > 1$$
$$f(p) = 1$$

Utilizando el segundo caso del teorema:

$$\exists\, k \geq 0 \quad / \quad f(p)\ \epsilon\ \Theta(p^{\log_b(a)} \log^k(p))$$
$$\Rightarrow T_p(p)\ \epsilon\ \Theta(p^{\log_b(a)} \log^{k+1}(p))$$

Es fácil ver que con $k = 0$ dicha condición se cumple, por lo tanto el resultado final es:

$$T_p(p)\ \epsilon\ \Theta(\log p)$$

Una vez sabido el coste temporal de este algoritmo podemos calcular el de la función principal. Como se había planteado anteriormente, consta de 2 ciclos anidados de N iteraciones. El coste del segundo ciclo está dado por:

$$T(N) = (\mathcal{O}(1) + \Theta(\log N)) * N$$
$$\Rightarrow T(N)\ \epsilon\ \Theta(N \log N)$$

Entonces el coste total del primer ciclo es:

$$T(N) = (\mathcal{O}(1) + \Theta(N \log N)) * N$$
$$\Rightarrow T(N)\ \epsilon\ \Theta(N^2 \log N)$$

Juntando todos los resultados parciales tenemos que el coste total del algoritmo es:

$$T(N) = \mathcal{O}(1) + \Theta(N^2 \log N)$$
$$\Rightarrow \boxed{T(N)\ \epsilon\ \Theta(N^2 \log N)}$$

En conclusión se puede ver que si la función *pow_Complex()* fuera reemplazada por una expresión de orden constante (como por ejemplo la creación del número complejo W directamente en cada iteración, como se hizo en la implementación de la FFT), entonces se perdería la componente logarítmica de la complejidad, quedando el resultado final:

$$\boxed{T(N)\ \epsilon\ \Theta(N^2)}$$

### 6.2.2 Complejidad Espacial

El costo principal en memoria está dado en la definición del vector de entrada $x[n]$ y el de salida $X[k]$, siendo estos bloques de tamaño N:

```
static Vector<Complex>
calculate_dft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
{
  Complex aux;
  size_t N;

  N = x.size();

  Vector<Complex> X(N);
```

El resto del algoritmo define algunas variables auxiliares de tipo complex y de tipo entero, pero que no tienen peso considerable respecto de los vectores mencionados.

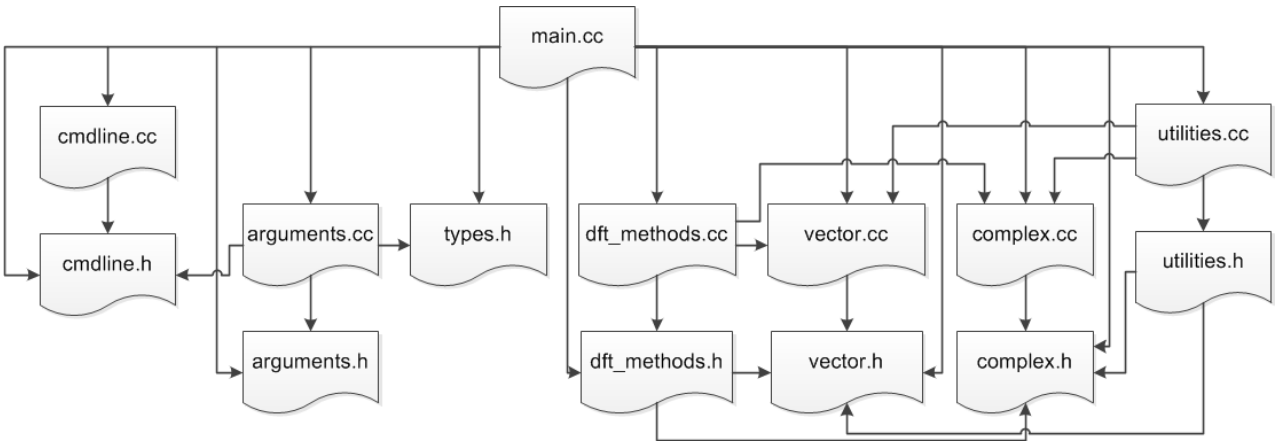
```
  Complex W(cos((2*PI)/N),
            W_phase_sign*sin((2*PI)/N));

  for(size_t k=0;k<N;k++) {
    for(size_t n=0;n<N;n++) {
      aux += x[n] * pow_complex(W, n*k);
    }
    X[k] = factor * aux;
    aux = 0;
  }
  return X;
}
```

luego resulta que los ciclos for solo realizan operaciones sobre los bloques de memoria ya creados, y se retorna el vector de Salida X. Por lo tanto, se deduce que el orden de la complejidad espacial es de orden

$$\boxed{\Theta(N)}$$

# 7 Estructura de archivos




# 8 Compilación

Para construir la aplicación, se utilizó el compilador *g++*, de la Free Software Foundation [1], con las opciones `-Wall` y `-pedantic`, que activan cualquier tipo de advertencia además de los errores de compilación y se restringen a ISO C++.

El proceso de compilación se realiza con el comando `make` que ejecuta el archivo "makefile", el cual se muestra a continuación:

```
CC       = g++
CCFLAGS  = -g -Wall -pedantic
LDFLAGS  =
OBJS = main.o complex.o cmdline.o arguments.o dft_methods.o utilities.o
PROGRAM_NAME = tp1

all: tp1
#       @/bin/true
```

[1] www.fsf.org

```
9
10 tp1: $(OBJS)
11         $(CC) $(LDFLAGS) $(OBJS) -o $(PROGRAM_NAME)
12
13 main.o: main.cc cmdline.h arguments.h complex.h vector.h dft_methods.h utilities
       .h types.h
14         $(CC) $(CCFLAGS) -c main.cc
15
16 complex.o: complex.cc complex.h
17         $(CC) $(CCFLAGS) -c complex.cc
18
19 cmdline.o: cmdline.cc cmdline.h
20         $(CC) $(CCFLAGS) -c cmdline.cc
21
22 arguments.o: arguments.cc arguments.h cmdline.h types.h
23         $(CC) $(CCFLAGS) -c arguments.cc
24
25 dft_methods.o: dft_methods.cc dft_methods.h complex.h vector.h utilities.h
26         $(CC) $(CCFLAGS) -c dft_methods.cc
27
28 utilities.o: utilities.cc utilities.h complex.h vector.h
29         $(CC) $(CCFLAGS) -c utilities.cc
30
31 clean:
32         rm *.o
```

# 9 Casos de prueba

Se realizó un *script* para la ejecución de todos los casos de prueba.

```
1  #!/bin/bash
2
3  # Script de tests automáticos para tp1.
4
5  echo Casos de prueba según la especifiación del TP
6  echo
7  echo Caso 1
8  echo "$ cat entrada.txt"
9  cat entrada.txt
10 echo "$ ./tp1 < entrada.txt"
11 ./tp1 < entrada.txt
12 echo "$ ./tp1 -m fft < entrada.txt"
13 ./tp1 -m fft < entrada.txt
14 echo "$ ./tp1 -m dft < entrada.txt"
15 ./tp1 -m dft < entrada.txt
16 echo
17
18 echo Caso 2
19 echo "$ cat entrada2.txt"
20 cat entrada2.txt
21 echo "$ ./tp1 < entrada2.txt"
22 ./tp1 < entrada2.txt
23 echo "$ ./tp1 -m fft < entrada2.txt"
24 ./tp1 -m fft < entrada2.txt
25 echo "$ ./tp1 -m dft < entrada2.txt"
26 ./tp1 -m dft < entrada2.txt
```

```
27 echo
28
29 echo Caso 4
30 echo "$ cat entrada4.txt"
31 cat entrada4.txt
32 echo "$ ./tp1 -m ifft < entrada4.txt"
33 ./tp1 -m ifft < entrada4.txt
34 echo "$ ./tp1 -m idft -o salida4.txt < entrada4.txt"
35 ./tp1 -m idft -o salida4.txt < entrada4.txt
36 echo "$ cat salida4.txt"
37 cat salida4.txt
38 echo
```

A continuación, se muestra el resultado de la ejecución de dicho *script*.

## 9.1 Caso 1

```
Caso 1
$ cat entrada.txt
1 1 1 1
$ ./tp1 < entrada.txt
(4, 0)
(-1.22461e-16, -1.22461e-16)
(0, -2.44921e-16)
(1.22461e-16, -1.22461e-16)
$ ./tp1 -m fft < entrada.txt
(4, 0)
(-1.22461e-16, -1.22461e-16)
(0, -2.44921e-16)
(1.22461e-16, -1.22461e-16)
$ ./tp1 -m dft < entrada.txt
(4, 0)
(-1.83691e-16, -2.22045e-16)
(0, -2.44921e-16)
(3.29028e-16, -3.33067e-16)
```

### 9.2 Caso 2

```
Caso 2
$ cat entrada2.txt
1 0 0 0 0 0 0 0
$ ./tp1 < entrada2.txt
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
$ ./tp1 -m fft < entrada2.txt
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
$ ./tp1 -m dft < entrada2.txt
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
```

### 9.3 Caso 4

```
Caso 4
$ cat entrada4.txt
0 0 4 0
$ ./tp1 -m ifft < entrada4.txt
(1, 0)
(-1, -1.22461e-16)
(1, 0)
(-1, -1.22461e-16)
$ ./tp1 -m idft -o salida4.txt < entrada4.txt
$ cat salida4.txt
(1, 0)
(-1, 1.22461e-16)
(1, -2.44921e-16)
(-1, 3.67382e-16)
```

## 10 Código

### 10.1 Programa principal

#### 10.1.1 main.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1er Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // main.cc
9  // Archivo principal donde se ejecuta el main.
10 // ------------------------------------------------------------------------ //
11
12 #include <iostream>
13 #include <cstdlib>
14 #include <sstream>
15
16 #include "cmdline.h"
17 #include "arguments.h"
18 #include "complex.h"
19 #include "vector.h"
20 // En definitiva lo que calculamos en todos los casos es la DFT
21 // (incluso en el caso de la fft, es un algorítmo para calcular la DFT)
22 #include "dft_methods.h"
23 #include "utilities.h"
24 #include "types.h"
25
26 using namespace std;
27
28
29 // Coleccion de funciones para transformar con los distintos métodos
30 Vector<Complex> (*transform[])(Vector<Complex> const &) = {
31
32     calculate_dft,
33           calculate_idft,
34     calculate_fft,
35           calculate_ifft
36
37 };
38
39 extern option_t options[];
40 extern istream *iss;
41 extern ostream *oss;
42 extern method_option_t method_option;
43
44 int main(int argc, char *argv[])
45 {
46   Complex input_complex;
47   Vector<Complex> input;
48   Vector<Complex> output;
49
50   // Parsear argumentos de invocacion
51   cmdline cmdl(options);
52   cmdl.parse(argc, argv);
53
54   // Mientras haya complejos en la entrada
55   // Cargar vector de entrada
56   while(*iss >> input_complex)
```

```
57    {
58      input.push_back(input_complex);
59    }
60
61    // Si el tamaño de la entrada no es potencia de 2 se completa con ceros
62    //hasta llevarla a la potencia de 2 más cercana (Zero-Padding)
63    set_up_input(input);
64
65    // Transformar
66    output = (transform[method_option])(input);
67
68    // Imprimir por la salida especificada por el usuario
69    for(int i=0; i<output.size(); i++)
70    {
71      *oss << output[i] << endl;
72    }
73
74
75    return EXIT_SUCCESS;
76
77  }
```

## 10.2 Métodos para Transformar

### 10.2.1 dft_methods.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1° Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // dft_methods.h
9  // Interfaces de los distintos métodos de la transformada.
10 // ------------------------------------------------------------------ //
11
12 #ifndef _DFT_METHODS_H_
13 #define _DFT_METHODS_H_
14
15 #include <iostream>
16
17 #include "complex.h"
18 #include "vector.h"
19
20 #define PI 3.14159265358979323846264338327950
21
22 Vector<Complex> calculate_dft(Vector<Complex> const &);
23 Vector<Complex> calculate_idft(Vector<Complex> const &);
24 Vector<Complex> calculate_fft(Vector<Complex> const &);
25 Vector<Complex> calculate_ifft(Vector<Complex> const &);
26
27 #endif
```

### 10.2.2 dft_methods.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------ //
```

```
// Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
// Algoritmos y Programación II
// 1° Cuatrimestre de 2015
// Trabajo Práctico 1: Recursividad
// Cálculo de DFT
//
// dft_methods.cc
// Implementación de los distintos métodos de la transformada.
// ------------------------------------------------------------------------- //

#include <iostream>
#include <cmath>

#include "dft_methods.h"
#include "complex.h"
#include "vector.h"
#include "utilities.h"

using namespace std;

// ------- DFT --------
// Función genérica para calcular DFT o IDFT
// Oculta al cliente.
// Si el flag "inverse" es "true", se calcula la inversa (IDFT)
// Caso contrario, la DFT
// Algoritmo iterativo para calcular la DFT
// Versión que utiliza función "pow" en cada iteración
static Vector<Complex>
calculate_dft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
{
  Complex aux;
  size_t N;

  N = x.size();

  // Por defecto se calcula la DFT con estos parámetros:
  double factor = 1;
  int W_phase_sign = -1;

  // En caso de tener que calcular la inversa,
  // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
  if (inverse)
  {
    factor = 1.0/N;
    W_phase_sign = 1;
  }

  Vector<Complex> X(N);

  Complex W(cos((2*PI)/N),
            W_phase_sign*sin((2*PI)/N));

  for(size_t k=0;k<N;k++) {
    for(size_t n=0;n<N;n++) {
      aux += x[n] * pow_complex(W, n*k);
    }
```

```
58      X[k] = factor * aux;
59      aux = 0;
60    }
61    return X;
62  }
63
64  // Máscara para la DFT
65  // Llama a la función genérica en modo "directa"
66  Vector<Complex>
67  calculate_dft(Vector<Complex> const &x)
68  {
69    bool inverse = false;
70    return calculate_dft_generic(x, inverse);
71  }
72
73  // Máscara para la IDFT
74  // Llama a la función genérica en modo "inversa"
75  Vector<Complex>
76  calculate_idft(Vector<Complex> const &X)
77  {
78    bool inverse = true;
79    return calculate_dft_generic(X, inverse);
80  }
81
82  // ------- FFT --------
83  // Función genérica para calcular FFT o IFFT
84  // Oculta al cliente.
85  // Si el flag "inverse" es "true", se calcula la inversa (IFFT)
86  // Caso contrario, la FFT
87  // Algoritmo recursivo para calcular la DFT: FFT
88  static Vector<Complex>
89  calculate_fft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
90  {
91    size_t N;
92    N = x.size();
93
94    Vector<Complex> X(N);
95
96    // Por defecto se calcula la FFT con estos parámetros:
97    double factor = 1;
98    int W_phase_sign = -1;
99
100   // En caso de tener que calcular la inversa,
101   // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
102   if (inverse)
103   {
104     factor = 1.0/N;
105     W_phase_sign = 1;
106   }
107
108   if (N > 1)
109   {
110     // Divido el problema en 2:
111     // Suponemos que la entrada es par y potencia de 2
112     Vector<Complex> p(N/2);
113     Vector<Complex> q(N/2);
```

```
114       Vector<Complex> P(N/2);
115       Vector<Complex> Q(N/2);
116       for (size_t i=0; i<N/2; i++)
117       {
118         p[i] = x[2*i];
119         q[i] = x[2*i+1];
120       }
121
122       P = calculate_fft(p);
123       Q = calculate_fft(q);
124
125       // Combino las soluciones:
126       for (size_t k=0; k<N; k++)
127       {
128         Complex W(cos(k*(2*PI)/N),
129                   W_phase_sign*sin(k*(2*PI)/N));
130         // Para que se repitan los elementos cíclicamente, se utiliza la función
              módulo
131         size_t k2 = k % (N/2);
132
133         X[k] = factor * (P[k2] + W*Q[k2]);
134       }
135     }
136     else
137     {
138       X = x;
139     }
140
141     return X;
142 }
143
144 // Máscara para la FFT
145 // Llama a la función genérica en modo "directa"
146 Vector<Complex>
147 calculate_fft(Vector<Complex> const &x)
148 {
149   bool inverse = false;
150   return calculate_fft_generic(x, inverse);
151 }
152
153 // Máscara para la IFFT
154 // Llama a la función genérica en modo "inversa"
155 Vector<Complex>
156 calculate_ifft(Vector<Complex> const &X)
157 {
158   bool inverse = true;
159   return calculate_fft_generic(X, inverse);
160 }
```

## 10.3 Funciones utilitarias

### 10.3.1 utilities.h

```
1 // ------------------------------------------------------------------ //
2 // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3 // Algoritmos y Programación II
4 // 1° Cuatrimestre de 2015
```

```
// Trabajo Práctico 1: Recursividad
// Cálculo de DFT
//
// utilities.h
// Funciones utilitarias para el propósito de la aplicación
// ------------------------------------------------------------------------ //

#ifndef _UTILITIES_H_INCLUDED_
#define _UTILITIES_H_INCLUDED_

#include <iostream>

#include "complex.h"
#include "vector.h"

void set_up_input(Vector<Complex> &);
Complex pow_complex(Complex const &, size_t);
size_t my_pow(size_t const &, size_t);

#endif
```

### 10.3.2 utilities.cc

```
// ------------------------------------------------------------------------ //
// Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
// Algoritmos y Programación II
// 1° Cuatrimestre de 2015
// Trabajo Práctico 1: Recursividad
// Cálculo de DFT
//
// utilities.cc
// Funciones utilitarias para el propósito de la aplicación
// ------------------------------------------------------------------------ //

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <sstream>
#include <cmath>

#include "utilities.h"
#include "complex.h"

using namespace std;



void
set_up_input(Vector<Complex> &input)
{
  size_t n = input.size();

  if (log2(n) - (int)log2(n)) {
    size_t l = (int)log2(n) + 1;
    size_t last = my_pow(2,l) - input.size();
    for(size_t i=0;i<last;i++) {
      input.push_back(0);
    }
```

```
35    }
36    return;
37  }
38
39  Complex
40  pow_complex(Complex const &z, size_t p)
41  {
42    if(!p) return 1;
43
44    if(p == 1){
45      return z;
46    }
47    else{
48      Complex aux = pow_complex(z, p/2);
49      if(!(p%2))
50          return aux * aux;
51        else
52          return aux * aux * z;
53    }
54  }
55
56  size_t
57  my_pow(size_t const &n, size_t p)
58  {
59    if(!p) return 1;
60
61    if(p == 1){
62      return n;
63    }
64    else{
65      size_t aux = my_pow(n, p/2);
66      if(!(p%2))
67          return aux * aux;
68        else
69          return aux * aux * n;
70    }
71  }
```

## 10.4 Clase Vector

### 10.4.1 vector.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1° Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // vector.h
9  // Interface de la clase Vector
10 // ------------------------------------------------------------------ //
11
12
13 #ifndef _VECTOR_H_
14 #define _VECTOR_H_
15
```

```
16 #include <iostream>
17 #include <cstdlib>
18 using namespace std;
19
20
21 template <typename T>
22 class Vector
23 {
24   public:
25     Vector();
26     Vector(int);
27     Vector(const Vector<T> &);
28     ~Vector();
29
30     int size() const;
31     const Vector<T> &operator=(const Vector<T> &); // operador asignacion
32     const T &operator[](int) const;
33     T &operator[](int);
34
35     void push_back(const T &); // Alta al final
36     void pop_back(); // Baja al final
37
38
39   private:
40     int size_;
41     T *ptr_;
42 };
43
44 // Se incluye el .cc que contiene la implementación para que pueda
45 // compilar bien y se mantenga la separación de interface-implementación
46 // en 2 archivos distintos. Esto se debe al uso de plantillas.
47 #include "vector.cc"
48
49 #endif // _VECTOR_H_
```

### 10.4.2 vector.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1° Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // vector.cc
9  // Implementación de la clase Vector
10 // ------------------------------------------------------------------ //
11
12 //#include "vector.h"
13
14 // Constructor por defecto
15 template <typename T>
16 Vector<T>::Vector()
17 {
18   ptr_ = NULL;
19   size_ = 0;
20 }
```

```
21
22 // Constructor con argumento
23 template <typename T>
24 Vector<T>::Vector(int s)
25 {
26   if (s <= 0)
27   {
28     exit(1);
29   }
30   else
31   {
32     size_ = s;
33     ptr_ = new T[size_];
34   }
35 }
36
37 // Constructor por copia
38 template <class T>
39 Vector<T>::Vector(const Vector<T> &v)
40 {
41   size_ = v.size_ ;
42   ptr_ = new T[size_];
43   for (int i=0; i < size_; i++)
44     ptr_[i] = v.ptr_[i];
45 }
46
47
48 template <typename T>
49 Vector<T>::~Vector()
50 {
51   if (ptr_)
52     delete [] ptr_;
53 }
54
55
56 template <typename T>
57 int
58 Vector<T>::size() const
59 {
60   return size_;
61 }
62
63
64 // Operador asignacion
65 template <typename T>
66 const Vector<T> &
67 Vector<T>::operator=(const Vector<T> &rigth)
68 {
69   if (this != &rigth)
70   {
71     if (size_ != rigth.size_)
72     {
73       T *aux;
74       aux = new T[rigth.size_];
75       delete [] ptr_; // si llegó acá es que obtuvo el espacio;libera el
           anterior espacio
```

```
76
77        size_ = rigth.size_;
78        ptr_ = aux;
79        for (int i=0; i < size_; i++)
80          ptr_[i] = rigth.ptr_[i];
81
82        return *this;
83      }
84      else
85      {
86        for (int i=0; i < size_; i++)
87          ptr_[i] = rigth.ptr_[i];
88
89        return *this;
90      }
91    }
92    return *this;
93  }
94
95
96  // Operador Sub-índice que devuelve rvalue constante
97  // En caso de pasar un sub-índice fuera de rango el programa finaliza con error
98  template <typename T>
99  const T &
100 Vector<T>::operator[](int i) const
101 {
102   if (i < 0 || i >= size_)
103     exit(1);
104
105   return ptr_[i];
106 }
107
108 // Operador Sub-índice que devuelve lvalue modificable
109 // En caso de pasar un sub-índice fuera de rango el programa finaliza con error
110 template <typename T>
111 T &
112 Vector<T>::operator[](int i)
113 {
114   if (i < 0 || i >= size_)
115     exit(1);
116
117   return ptr_[i];
118 }
119
120
121
122 // Alta al final
123 template <typename T>
124 void
125 Vector<T>::push_back(const T & data)
126 {
127   T *aux;
128   aux = new T[size_ + 1];
129   for(int i=0; i<size_; i++)
130     aux[i] = ptr_[i];
131   aux[size_] = data;
```

```
132
133   delete [] ptr_;
134   ptr_ = aux;
135   size_++;
136 }
137
138
139
140 // Baja al final
141 template <typename T>
142 void
143 Vector<T>::pop_back()
144 {
145   T *aux;
146   aux = new T[size_ - 1];
147   for(int i=0; i<(size_-1); i++)
148     aux[i] = ptr_[i];
149
150   delete [] ptr_;
151   ptr_ = aux;
152   size_--;
153 }
```

## 10.5 Clase Complejo

### 10.5.1 complex.h

```
1  #ifndef _COMPLEX_H_INCLUDED_
2  #define _COMPLEX_H_INCLUDED_
3
4  #include <iostream>
5
6  class Complex
7  {
8    public:
9      Complex();
10     Complex(double);
11     Complex(double, double);
12     Complex(const Complex &);
13     Complex const &operator=(Complex const &);
14     Complex const &operator*=(Complex const &);
15     Complex const &operator+=(Complex const &);
16     Complex const &operator-=(Complex const &);
17     ~Complex();
18
19     double real() const;
20     double imag() const;
21     double abs() const;
22     double abs2() const;
23     double phase() const;
24     Complex const &conjugate();
25     Complex const conjugated() const;
26     bool iszero() const;
27
28     friend Complex const operator+(Complex const &, Complex const &);
29     friend Complex const operator-(Complex const &, Complex const &);
30     friend Complex const operator*(Complex const &, Complex const &);
```

```
31      friend Complex const operator/(Complex const &, Complex const &);
32      friend Complex const operator/(Complex const &, double);
33
34      friend bool operator==(Complex const &, double);
35      friend bool operator==(Complex const &, Complex const &);
36
37      friend std::ostream &operator<<(std::ostream &, const Complex &);
38      friend std::istream &operator>>(std::istream &, Complex &);
39
40    private:
41      double real_, imag_;
42  }; // class Complex
43
44  #endif // _COMPLEX_H_INCLUDED_
```

### 10.5.2 complex.cc

```
1   #include <iostream>
2   #include <cmath>
3
4   #include "complex.h"
5
6   using namespace std;
7
8
9
10  Complex::Complex() : real_(0), imag_(0)
11  {
12  }
13
14  Complex::Complex(double r) : real_(r), imag_(0)
15  {
16  }
17
18  Complex::Complex(double r, double i) : real_(r), imag_(i)
19  {
20  }
21
22  Complex::Complex(Complex const &c) : real_(c.real_), imag_(c.imag_)
23  {
24  }
25
26  Complex const &
27  Complex::operator=(Complex const &c)
28  {
29    real_ = c.real_;
30    imag_ = c.imag_;
31    return *this;
32  }
33
34  Complex const &
35  Complex::operator*=(Complex const &c)
36  {
37    double re = real_ * c.real_
38              - imag_ * c.imag_;
39    double im = real_ * c.imag_
40              + imag_ * c.real_;
```

```
41    real_ = re, imag_ = im;
42    return *this;
43  }
44
45  Complex const &
46  Complex::operator+=(Complex const &c)
47  {
48    double re = real_ + c.real_;
49    double im = imag_ + c.imag_;
50    real_ = re, imag_ = im;
51    return *this;
52  }
53
54  Complex const &
55  Complex::operator-=(Complex const &c)
56  {
57    double re = real_ - c.real_;
58    double im = imag_ - c.imag_;
59    real_ = re, imag_ = im;
60    return *this;
61  }
62
63  Complex::~Complex()
64  {
65  }
66
67  double
68  Complex::real() const
69  {
70    return real_;
71  }
72
73  double Complex::imag() const
74  {
75    return imag_;
76  }
77
78  double
79  Complex::abs() const
80  {
81    return std::sqrt(real_ * real_ + imag_ * imag_);
82  }
83
84  double
85  Complex::abs2() const
86  {
87    return real_ * real_ + imag_ * imag_;
88  }
89
90  double
91  Complex::phase() const
92  {
93    return atan2(imag_, real_);
94  }
95
96  Complex const &
```

```
97  Complex::conjugate()
98  {
99    imag_*= -1;
100   return *this;
101 }
102
103 Complex const
104 Complex::conjugated() const
105 {
106   return Complex(real_, -imag_);
107 }
108
109 bool
110 Complex::iszero() const
111 {
112 #define ZERO(x) ((x) == +0.0 && (x) == -0.0)
113   return ZERO(real_) && ZERO(imag_) ? true : false;
114 }
115
116 Complex const
117 operator+(Complex const &x, Complex const &y)
118 {
119   Complex z(x.real_ + y.real_, x.imag_ + y.imag_);
120   return z;
121 }
122
123 Complex const
124 operator-(Complex const &x, Complex const &y)
125 {
126   Complex r(x.real_ - y.real_, x.imag_ - y.imag_);
127   return r;
128 }
129
130 Complex const
131 operator*(Complex const &x, Complex const &y)
132 {
133   Complex r(x.real_ * y.real_ - x.imag_ * y.imag_,
134             x.real_ * y.imag_ + x.imag_ * y.real_);
135   return r;
136 }
137
138 Complex const
139 operator/(Complex const &x, Complex const &y)
140 {
141   return x * y.conjugated() / y.abs2();
142 }
143
144 Complex const
145 operator/(Complex const &c, double f)
146 {
147   return Complex(c.real_ / f, c.imag_ / f);
148 }
149
150 bool
151 operator==(Complex const &c, double f)
152 {
```

```
153   bool b = (c.imag_ != 0 || c.real_ != f) ? false : true;
154   return b;
155 }
156
157 bool
158 operator==(Complex const &x, Complex const &y)
159 {
160   bool b = (x.real_ != y.real_ || x.imag_ != y.imag_) ? false : true;
161   return b;
162 }
163
164 ostream &
165 operator<<(ostream &os, const Complex &c)
166 {
167   return os << "("
168             << c.real_
169             << ", "
170             << c.imag_
171             << ")";
172 }
173
174 istream &
175 operator>>(istream &is, Complex &c)
176 {
177   int good = false;
178   int bad  = false;
179   double re = 0;
180   double im = 0;
181   char ch = 0;
182
183   if (is >> ch
184       && ch == '(') {
185     if (is >> re
186         && is >> ch
187         && ch == ','
188         && is >> im
189         && is >> ch
190         && ch == ')')
191       good = true;
192     else
193       bad = true;
194   } else if (is.good()) {
195     is.putback(ch);
196     if (is >> re)
197       good = true;
198     else
199       bad = true;
200   }
201
202   if (good)
203     c.real_ = re, c.imag_ = im;
204   if (bad)
205     is.clear(ios::badbit);
206
207   return is;
208 }
```

## 10.6 Clase cmdline

### 10.6.1 types.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1° Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // types.h
9  // Tipos definidos para el proposito de la aplicacion
10 //  - Opciones posibles de métodos de transformada.
11 // ------------------------------------------------------------------------ //
12
13 #ifndef _TYPES_H_INCLUDED_
14 #define _TYPES_H_INCLUDED_
15
16 #include <iostream>
17
18 typedef enum{
19
20     METHOD_OPTION_DFT = 0,
21     METHOD_OPTION_IDFT = 1,
22     METHOD_OPTION_FFT = 2,
23     METHOD_OPTION_IFFT = 3,
24     METHOD_OPTION_FFT_ITER = 4,
25     METHOD_OPTION_IFFT_ITER = 5
26
27 } method_option_t;
28
29 #endif
```

### 10.6.2 arguments.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1er Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // arguments.h
9  // Funciones a llamar para cada opcion posible de la aplicacion
10 // Nombres de los argumentos de la opcion "--format"
11 // ------------------------------------------------------------------------ //
12
13 #ifndef _ARGUMENTS_H_INCLUDED_
14 #define _ARGUMENTS_H_INCLUDED_
15
16 #include <iostream>
17
18 #define METHOD_OPTIONS 4
19 #define METHOD_DFT "dft"
20 #define METHOD_IDFT "idft"
21 #define METHOD_FFT "fft"
```

```
22 #define METHOD_IFFT "ifft"
23 #define METHOD_FFT_ITER "fft-iter"
24 #define METHOD_IFFT_ITER "ifft-iter"
25
26 void opt_input(std::string const &);
27 void opt_output(std::string const &);
28 void opt_method(std::string const &);
29
30 #endif
```

### 10.6.3 arguments.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1er Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // arguments.cc
9  // Funciones a llamar para cada opción posible de la aplicación
10 // ------------------------------------------------------------------------ //
11
12 #include <iostream>
13 #include <fstream>
14 #include <sstream>
15 #include <cstdlib>
16 #include <cstring>
17
18 #include "arguments.h"
19 #include "cmdline.h"
20 #include "types.h"
21
22 using namespace std;
23
24
25 // Opciones de argumentos de invocacion
26 option_t options[] = {
27   {1, "i", "input", "-", opt_input, OPT_SEEN},
28   {1, "o", "output", "-", opt_output, OPT_SEEN},
29   {1, "m", "method", "fft", opt_method, OPT_SEEN},
30   {0, },
31 };
32
33 // Nombres de los argumentos de la opcion "--method"
34 string description_method_option[] = {
35
36     METHOD_DFT,
37     METHOD_IDFT,
38     METHOD_FFT,
39     METHOD_IFFT,
40 };
41
42 istream *iss;
43 ostream *oss;
44 fstream ifs;
45 fstream ofs;
```

```
46 method_option_t method_option;
47
48 void
49 opt_input(string const &arg)
50 {
51   // Si el nombre del archivos es "-", usaremos la entrada
52   // estándar. De lo contrario, abrimos un archivo en modo
53   // de lectura.
54   //
55   if (arg == "-") {
56     iss = &cin;     // Establezco la entrada estandar cin como flujo de entrada
57   }
58   else {
59     ifs.open(arg.c_str(), ios::in); // c_str(): Returns a pointer to an array
         that contains a null-terminated
60                     // sequence of characters (i.e., a C-string) representing
61                     // the current value of the string object.
62     iss = &ifs;
63   }
64
65   // Verificamos que el stream este OK.
66   //
67   if (!iss->good()) {
68     cerr << "Cannot open "
69          << arg
70          << "."
71          << endl;
72     exit(1);
73   }
74 }
75
76 void
77 opt_output(string const &arg)
78 {
79   // Si el nombre del archivos es "-", usaremos la salida
80   // estándar. De lo contrario, abrimos un archivo en modo
81   // de escritura.
82   //
83   if (arg == "-") {
84     oss = &cout;  // Establezco la salida estandar cout como flujo de salida
85   } else {
86     ofs.open(arg.c_str(), ios::out);
87     oss = &ofs;
88   }
89
90   // Verificamos que el stream este OK.
91   //
92   if (!oss->good()) {
93     cerr << "Cannot open "
94          << arg
95          << "."
96          << endl;
97     exit(1);     // EXIT: Terminación del programa en su totalidad
98   }
99 }
100
```

```
101 void
102 opt_method(string const &arg)
103 {
104   size_t i;
105   // Recorremos diccionario de argumentos hasta encontrar uno que coincida
106   for(i=0; i < METHOD_OPTIONS; i++) {
107     if(arg == description_method_option[i]) {
108       method_option = (method_option_t)i; // Casteo
109       break;
110     }
111   }
112   // Si recorrio todo el diccionario, el argumento no esta implementado
113   if (i == METHOD_OPTIONS) {
114     cerr << "Unknown format" << endl;
115     exit(1);
116   }
117 }
```

### 10.6.4 cmdline.h

```
1  #ifndef _CMDLINE_H_INCLUDED_
2  #define _CMDLINE_H_INCLUDED_
3
4  #include <string>
5  #include <iostream>
6
7  #define OPT_DEFAULT   0
8  #define OPT_SEEN      1
9  #define OPT_MANDATORY 2
10
11 struct option_t {
12   int has_arg;
13   const char *short_name;
14   const char *long_name;
15   const char *def_value;
16   void (*parse)(std::string const &); // Puntero a funcin de opciones
17   int flags;
18 };
19
20 class cmdline {
21   // Este atributo apunta a la tabla que describe todas
22   // las opciones a procesar. Por el momento, slo puede
23   // ser modificado mediante contructor, y debe finalizar
24   // con un elemento nulo.
25   //
26   option_t *option_table;
27
28   // El constructor por defecto cmdline::cmdline(), es
29   // privado, para evitar construir "parsers" (analizador
30   // sintctico, recibe una palabra y lo interpreta en
31   // una accin dependiendo su significado para el programa)
32   // sin opciones. Es decir, objetos de esta clase sin opciones.
33   //
34
35   cmdline();
36   int do_long_opt(const char *, const char *);
37   int do_short_opt(const char *, const char *);
```

```
38 public:
39   cmdline(option_t *);
40   void parse(int, char * const []);
41 };
42
43 #endif
```

### 10.6.5 cmdline.cc

```
1  // cmdline - procesamiento de opciones en la lnea de comando.
2  //
3  // $Date: 2012/09/14 13:08:33 $
4  //
5  #include <string>
6  #include <cstdlib>
7  #include <iostream>
8
9  #include "cmdline.h"
10
11 using namespace std;
12
13
14
15 cmdline::cmdline()
16 {
17 }
18
19 cmdline::cmdline(option_t *table) : option_table(table)
20 {
21   /*
22   - Lo mismo que hacer:
23
24   option_table = table;
25
26   Siendo "option_table" un atributo de la clase cmdline
27   y table un puntero a objeto o struct de "option_t".
28
29   Se estara contruyendo una instancia de la clase cmdline
30   cargandole los datos que se hayan en table (la table con
31   las opciones, ver el cdigo en main.cc)
32
33   */
34 }
35
36 void
37 cmdline::parse(int argc, char * const argv[])
38 {
39 #define END_OF_OPTIONS(p)       \
40   ((p)->short_name == 0    \
41    && (p)->long_name == 0 \
42    && (p)->parse == 0)
43
44   // Primer pasada por la secuencia de opciones: marcamos
45   // todas las opciones, como no procesadas. Ver cdigo de
46   // abajo.
47   //
48   for (option_t *op = option_table; !END_OF_OPTIONS(op); ++op)
```

```
49      op->flags &= ~OPT_SEEN;
50
51    // Recorremos el arreglo argv. En cada paso, vemos
52    // si se trata de una opcin corta, o larga. Luego,
53    // llamamos a la funcin de parseo correspondiente.
54    //
55    for (int i = 1; i < argc; ++i) {
56      // Todos los parmetros de este programa deben
57      // pasarse en forma de opciones. Encontrar un
58      // parmetro no-opcin es un error.
59      //
60      if (argv[i][0] != '-') {
61        cerr << "Invalid non-option argument: "
62             << argv[i]
63             << endl;
64        exit(1);
65      }
66
67      // Usamos "--" para marcar el fin de las
68      // opciones; todo los argumentos que puedan
69      // estar a continuacin no son interpretados
70      // como opciones.
71      //
72      if (argv[i][1] == '-'
73          && argv[i][2] == 0)
74        break;
75
76      // Finalmente, vemos si se trata o no de una
77      // opcin larga; y llamamos al mtodo que se
78      // encarga de cada caso.
79      //
80      if (argv[i][1] == '-')
81        i += do_long_opt(&argv[i][2], argv[i + 1]);
82      else
83        i += do_short_opt(&argv[i][1], argv[i + 1]);
84    }
85
86    // Segunda pasada: procesamos aquellas opciones que,
87    // (1) no hayan figurado explcitamente en la lnea
88    // de comandos, y (2) tengan valor por defecto.
89    //
90    for (option_t *op = option_table; !END_OF_OPTIONS(op); ++op) {
91  #define OPTION_NAME(op) \
92    (op->short_name ? op->short_name : op->long_name)
93      if (op->flags & OPT_SEEN)
94        continue;
95      if (op->flags & OPT_MANDATORY) {
96        cerr << "Option "
97             << "-"
98             << OPTION_NAME(op)
99             << " is mandatory."
100            << "\n";
101       exit(1);
102     }
103     if (op->def_value == 0)
104       continue;
```

```
105       op->parse(string(op->def_value));
106     }
107   }
108
109   int
110   cmdline::do_long_opt(const char *opt, const char *arg)
111   {
112     // Recorremos la tabla de opciones, y buscamos la
113     // entrada larga que se corresponda con la opcin de
114     // lnea de comandos. De no encontrarse, indicamos el
115     // error.
116     //
117     for (option_t *op = option_table; op->long_name != 0; ++op) {
118       if (string(opt) == string(op->long_name)) {
119         // Marcamos esta opcin como usada en
120         // forma explcita, para evitar tener
121         // que inicializarla con el valor por
122         // defecto.
123         //
124         op->flags |= OPT_SEEN;
125
126         if (op->has_arg) {
127           // Como se trada de una opcin
128           // con argumento, verificamos que
129           // el mismo haya sido provisto.
130           //
131           if (arg == 0) {
132             cerr << "Option requires argument: "
133                  << "--"
134                  << opt
135                  << "\n";
136             exit(1);
137           }
138           op->parse(string(arg));
139           return 1;
140         } else {
141           // Opcin sin argumento.
142           //
143           op->parse(string(""));
144           return 0;
145         }
146       }
147     }
148
149     // Error: opcin no reconocida. Imprimimos un mensaje
150     // de error, y finalizamos la ejecucin del programa.
151     //
152     cerr << "Unknown option: "
153          << "--"
154          << opt
155          << "."
156          << endl;
157     exit(1);
158
159     // Algunos compiladores se quejan con funciones que
160     // lgicamente no pueden terminar, y que no devuelven
```

```
161   // un valor en esta ltima parte.
162   //
163   return -1;
164 }
165
166 int
167 cmdline::do_short_opt(const char *opt, const char *arg)
168 {
169   option_t *op;
170
171   // Recorremos la tabla de opciones, y buscamos la
172   // entrada corta que se corresponda con la opcin de
173   // lnea de comandos. De no encontrarse, indicamos el
174   // error.
175   //
176   for (op = option_table; op->short_name != 0; ++op) {
177     if (string(opt) == string(op->short_name)) {
178       // Marcamos esta opcin como usada en
179       // forma explcita, para evitar tener
180       // que inicializarla con el valor por
181       // defecto.
182       //
183       op->flags |= OPT_SEEN;
184
185       if (op->has_arg) {
186         // Como se trata de una opcin
187         // con argumento, verificamos que
188         // el mismo haya sido provisto.
189         //
190         if (arg == 0) {
191           cerr << "Option requires argument: "
192                << "-"
193                << opt
194                << "\n";
195           exit(1);
196         }
197         op->parse(string(arg));
198         return 1;
199       } else {
200         // Opcin sin argumento.
201         //
202         op->parse(string(""));
203         return 0;
204       }
205     }
206   }
207
208   // Error: opcin no reconocida. Imprimimos un mensaje
209   // de error, y finalizamos la ejecucin del programa.
210   //
211   cerr << "Unknown option: "
212        << "-"
213        << opt
214        << "."
215        << endl;
216   exit(1);
```

```
217
218   // Algunos compiladores se quejan con funciones que
219   // lgicamente no pueden terminar, y que no devuelven
220   // un valor en esta ltima parte.
221   //
222   return -1;
223 }
```

# 11 Enunciado