



Apunte de Clases 6 Trabajo Final

1. Normas generales del Trabajo Práctico

- El trabajo debe enviarse para su corrección al menos una semana antes de la fecha de mesa a la que se desee asistir.
- El trabajo debe estar aprobado (A) antes de rendir la práctica y la teoría de la asignatura.
- El trabajo solo puede estar Aprobado o Desaprobado.
- El trabajo se debe realizar en grupos de dos personas, sin excepción.

2. Objetivo

Desarrollar un programa para la visualización de grafos. El mismo debe buscar una distribución de los vértices de forma pareja, es decir, que las aristas tengan un largo uniforme y reflejen simetría. Para llevar a cabo esto se pide implementar el algoritmo de Fruchterman-Reingold [1] que se basa en simular fuerzas de repulsión entre los vértices del grafo y fuerzas de atracción entre los vértices que se encuentran unidos por aristas. Una posible interpretación es pensar a las aristas como resortes y a la ejecución del algoritmo como la búsqueda del equilibrio del sistema mecánico que conforma el grafo. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de aplicación del algoritmo de Fruchterman-Reingold.

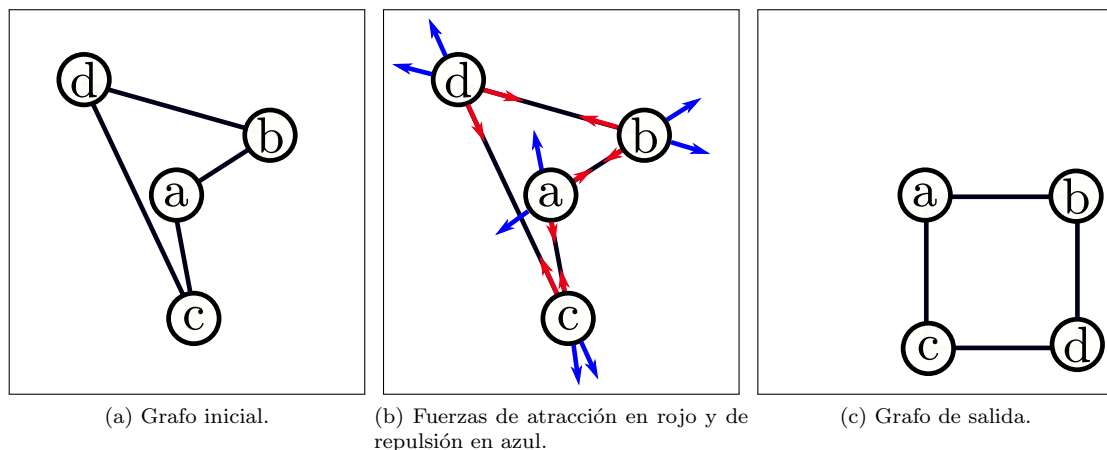


Figura 1: Aplicación del algoritmo de Fruchterman-Reingold.

2.1. Formato obligatorio de parámetros entrada del TP

- El grafo debe ser leído desde un archivo a través de línea de comando. Ejemplo:
`python practica6_esqueleto.py <archivo_contiene_grafo>`

- Los parámetros *iteraciones* y *refresh* deben ser opcionales e ingresados por línea de comando.
- Se debe implementar la opción de modo *verbose* (`-v`, `--verbose`).
- Pueden agregarse los parámetros opcionales que se consideren útiles.

Para lograr esto puede ser de ayuda la librería *argparse*. Este módulo hace muy sencillo escribir una interfaz por línea de comando amigable con el usuario. Existen funciones para indicar qué parámetros son necesarios, y el módulo se encarga de parsearlos adecuadamente.¹ Se puede instalar sencillamente a través del siguiente comando:

```
pip install argparse
```

En el archivo *practica6-esqueleto.py* se encuentra un ejemplo de cómo utilizar *argparse*.

3. Librería de graficado

Para el dibujado del grafo se recomienda utilizar la herramienta *matplotlib*². Esta puede ser instalada a través del gestor de paquetes *pip* con los siguientes comandos:

```
python -m pip install -U pip
python -m pip install -U matplotlib
```

En la carpeta *plots* se encuentran dos ejemplos de gráficos con *matplotlib*, a fin de corroborar que la librería está correctamente instalada.

4. Otras librerías de Python útiles

Se listan a continuación algunas librerías que pueden ser útiles. Sus usos no son obligatorios.

- Gestor de paquetes: *pip*. Modo de uso: `pip install <paquete>`
- Entorno virtual: *virtualenv*.
- Debugger de Python: *pdb*. Modo de uso: colocar `import pdb; pdb.set_trace()` desde la línea del archivo fuente que se desee inspeccionar. Luego existen varios comandos útiles entre los que podemos comentar:
 - `l` (imprime código)
 - `n` (siguiente línea de código)
 - `s` (step)
 - `c` (continue)

5. Tareas 1era clase TP

1. Proveer funciones para leer grafos desde archivos y dibujarlos en coordenadas aleatorias.
2. Implementar el algoritmo siguiendo el pseudo-código propuesto en Algoritmo 1. Por ahora, definir las funciones `f_attraction(v0, v1)` y `f_repulsion(v0, v1)` como la distancia euclidiana entre los vértices.

¹Se puede encontrar un tutorial en el siguiente link: <https://docs.python.org/3/howto/argparse.html>

²<https://matplotlib.org/>

Algorithm 1 Idea del Algoritmo de Fruchterman-Reingold.

```
procedure LAYOUT
   $N, E = G$ 
  randomize_positions( $N$ )
  for  $k = 1$  to NumIterations do
    reset_accum()
  end for
  for each  $e \in E$  do
     $f = f_{\text{attraction}}(e)$ 
     $\text{accum}[e.\text{origin}] += f$ 
     $\text{accum}[e.\text{dst}] -= f$ 
  end for
  for each  $n_i \in \text{range}(N)$  do
    for each  $n_j \in \text{range}(N)$  do
      if  $n_i \neq n_j$  then
         $f = f_{\text{repulsion}}(n_i, n_j)$ 
         $\text{accum}[n_i] += f$ 
         $\text{accum}[n_j] -= f$ 
      end if
    end for
  end for
end procedure
```

6. Tareas 2da clase TP

Realizar una implementación básica del algoritmo de Fruchterman-Reingold más detallado en el Algoritmo 2.

En la ecuación 1 se muestra la estimación del valor k referente a la dispersión de los nodos del grafo. Si el área del layout es muy grande, entonces los nodos estarán muy dispersos. En cambio, si el área es muy chica entonces el grafo estará muy concentrado. c es una constante para modificar el espaciamiento.

$$k = c \sqrt{\frac{\text{area}}{\#nodes}} \quad (1)$$

En la ecuación 3 se muestran las funciones que calculan las fuerzas de atracción y repulsión respectivamente. Observar que si la distancia d se incrementa, la fuerza de atracción será mayor. Del mismo modo, cuando la distancia d es decrementada, la fuerza de repulsión será mayor.

$$f_{\text{attraction}}(d) = \frac{d^2}{k} \quad (2)$$

$$f_{\text{repulsion}}(d) = \frac{k^2}{d} \quad (3)$$

Algorithm 2 Implementación básica del algoritmo de Fruchterman-Reingold.

```
procedure LAYOUT( $G$ )
   $N, E = G$ 
  randomize_positions( $N$ )
  for  $k = 1$  to NumIterations do
    step()
  end for
end procedure

procedure STEP( )
  initialize_accumulators()
  compute_attraction_forces()
  compute_repulsion_forces()
  update_positions()
end procedure

procedure INITIALIZE_ACCUMULATORS( )
  acum_x = {node: 0 for node in  $N$  }
  acum_y = {node: 0 for node in  $N$  }
end procedure

procedure COMPUTE_ATTRACTION_FORCES( )
  for each  $n_i, n_j \in E$  do
     $distance = \sqrt{(pos\_x[n_i] - pos\_x[n_j])^2 + (pos\_y[n_i] - pos\_y[n_j])^2}$ 
     $mod\_fa = f_{attraction}(distance)$ 
     $f_x = \frac{mod\_fa (pos\_x[n_j] - pos\_x[n_i])}{distance}$ 
     $f_y = \frac{mod\_fa (pos\_y[n_j] - pos\_y[n_i])}{distance}$ 
     $accum\_x[n_i] + = f_x$ 
     $accum\_y[n_i] + = f_y$ 
     $accum\_x[n_j] - = f_x$ 
     $accum\_y[n_j] - = f_y$ 
  end for
end procedure

procedure COMPUTE_REPULSION_FORCES( )
  # Similar a compute_attraction_forces() pero aplicándose a todos los nodos
end procedure

procedure UPDATE_POSITIONS( )
  for each  $node \in N$  do
    # cuidado con los bordes de la ventana
     $pos\_x[node] = pos\_x[node] + accum\_x[node]$ 
     $pos\_y[node] = pos\_y[node] + accum\_y[node]$ 
  end for
end procedure
```

7. Tareas 3ra clase TP

7.1. Fuerza de gravedad

La gravedad es una fuerza que se aplica de igual manera a todos los vértices del grafo (independientemente de dónde estén ubicados). La Figura 2 ilustra el efecto de la inclusión de la fuerza de gravedad en el algoritmo de Fruchterman-Reingold. El vector gravedad de cada vértice apunta al centro de la imagen de visualización. En la práctica, la gravedad tiene que tener un orden de magnitud menor al resto de las fuerzas resultantes del grafo, esto es para evitar la deformación del grafo. Por ejemplo, si las fuerzas resultantes del grafo tienen un orden de las centenas, la gravedad tendrá un orden de las decenas.

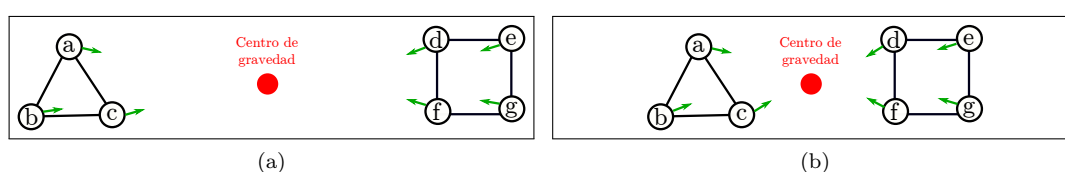


Figura 2: Uso de gravedad en el algoritmo de Fruchterman-Reingold.

El Algoritmo 3 ilustra cómo la gravedad puede ser incorporada a la actual implementación básica del algoritmo de Fruchterman-Reingold.

Algorithm 3 Agregando gravedad al algoritmo de Fruchterman-Reingold.

```

procedure STEP( )
  initialize_accumulators()
  compute_attraction_forces()
  compute_repulsion_forces()
  compute_gravity_forces()
  update_positions()
end procedure

```

7.2. Temperatura

La temperatura del sistema permite que el mismo pueda converger rápidamente, sin contraerse y dilatarse repetidamente como se muestra en la Figura 3. Una mayor temperatura implica mayores variaciones en el sistema. Por el contrario, una menor temperatura, implica menores variaciones. Intuitivamente, en un comienzo el sistema requerirá variaciones significativas, y a medida que pasan las iteraciones, el grafo estará cada vez más ordenado y por lo tanto las variaciones requeridas serán menores, esto se logrará con un descenso de la temperatura. El Algoritmo 4 muestra cómo el algoritmo de Fruchterman-Reingold se ve modificado al considerar el arámetro de temperatura. La temperatura del sistema se verá reducida de manera constante luego de cada iteración.

7.3. Caso borde

Si dos vértices caen en el mismo lugar puede llevar a una división por cero. Esto se puede resolver haciendo que cuando dos nodos se encuentran a menor que una dada distancia ϵ (Por ejemplo, $\epsilon = 0,05$), entonces se les aplica una fuerza de repulsión constante aleatoria. Por ejemplo se calcula

Algorithm 4 Agregando temperatura al algoritmo de Fruchterman-Reingold.

```
procedure STEP( )
  initialize_temperature()
  initialize_accumulators()
  compute_attraction_forces()
  compute_repulsion_forces()
  compute_gravity_forces()
  update_positions()
  update_temperature()
end procedure
procedure INITIALIZE_TEMPERATURE( )
   $t = t_0$ 
end procedure
procedure UPDATE_TEMPERATURE( )
   $t = c t$ 
end procedure
procedure UPDATE_POSITIONS( )
  for each  $node \in N$  do
     $\vec{f} = (accum\_x[node], accum\_y[node])$ 
    if  $\|\vec{f}\| > t$  then
       $\vec{f} = \frac{\vec{f}}{\|\vec{f}\|} t$ 
       $(accum\_x[node], accum\_y[node]) = \vec{f}$ 
    end if
    # cuidado con los bordes de la ventana
     $pos\_x[node] = pos\_x[node] + accum\_x[node]$ 
     $pos\_y[node] = pos\_y[node] + accum\_y[node]$ 
  end for
end procedure
```

▷ c es una constante. Ejemplo: c = 0,95

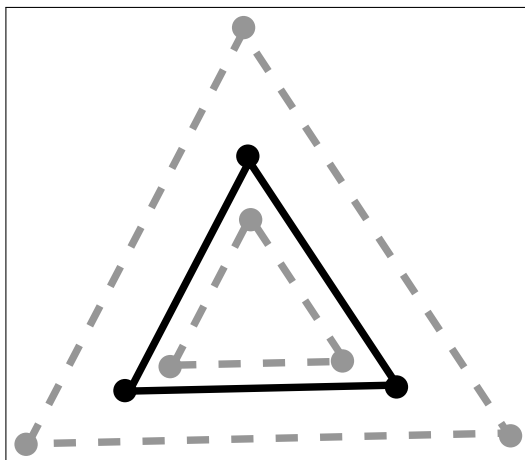


Figura 3: Oscilación del algoritmo de Fruchterman-Reingold por falta del uso del parámetro de temperatura.

aleatoriamente un vector dirección y se le aplica una pequeña fuerza en esa dirección al punto. El otro punto debe sufrir la misma fuerza de repulsión en sentido contrario.

8. Tarea obligatoria para grupos de 2 personas

Los grupos realicen el trabajo práctico de a dos deben realizar las siguientes tareas:

- Encontrar el tamaño límite en el cual el algoritmo no corre en 1 segundo (sin graficar pasos intermedios)
- Optimizar el algoritmo, de forma de que corra los mismos casos en 0.5 segundos. Algunas opciones son:
 - Si el grafo tiene más de dos componentes cada componente se ordene por separado y luego se las concatene. Sin embargo esta opción solo sirve para grafos de más de una sola componente y por lo tanto no es suficiente.
 - Analizar los vértices según su distancia entre sí, y solo aplicar las fuerzas en aquellos en los que haya mayor cambio.

El alumno puede proponer o analizar otras opciones.

- La optimización debe poder ser prendida/apagada con un argumento provisto por línea de comando utilizando las banderas -o u --optimize.

Referencias

- [1] THOMAS M. J. FRUCHTERMAN, EDWARD M. REINGOLD. *Graph Drawing by Force-Directed Placement*, Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1304 W. Springfield Avenue, Urbana, IL 61801-2987, U.S.A.