

---

# Modelación y Simulación

## Departamento de Ingeniería en Informática

### Lab: Simulación de movimiento humano

## 1 La multitud

En clase estudiamos la modelación de grupos de agentes con comportamiento de tipo bandada, tal como una bandada de aves o un cardumen de peces. A estos grupos los modelamos con leyes de conducción basada en fuerzas de alineación, repulsión y separación. El resultado es un conjunto de individuos que se mueven en relativa sincronía y donde no se estorban entre ellos.

En el caso de grupos de personas que se mueven en espacios cerrados y muy cercanas unas con otras el conjunto de fuerzas es distinto. Estas deben modelar, no solo fuerzas de repulsión entre individuos sino también fuerzas de roce o fricción entre personas y fuerzas de las paredes del recinto.

Además, en estos casos, las personas se mueven con un objetivo definido, como por ejemplo dirigirse a la salida o, todos caminar en una misma dirección.

Las variables básicas para modelar este problema son

- $\mathbf{p}_i(t)$ : posición de la persona  $i$  en tiempo  $t$ .  $\mathbf{p}_i$  tiene componentes  $x$  e  $y$
- $r_i$ : radio de la persona  $i$ , que en nuestro caso corresponde al tamaño de la persona
- $m_i$ : masa de la persona  $i$
- $\mathbf{v}_i(t)$ : velocidad de  $i$  en tiempo  $t$

Todas las variables en boldface son vectores bidimensionales, con componentes  $x$  e  $y$ . Las variables sin boldface son escalares.

## 2 Modelación de fuerzas

Las fuerzas ejercidas en una multitud pueden modelarse de la siguiente manera:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i(t)}{dt} = m_i \frac{v_i^0 \mathbf{e}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} \mathbf{f}_{ij}(t) + \sum_w \mathbf{f}_{iw}(t) + \sum_p \mathbf{f}_{ip}(t) \quad (1)$$

donde

- $v_i^0(t)$ : magnitud deseada de velocidad
- $\mathbf{e}_i^0(t)$ : dirección deseada de desplazamiento de la persona  $i$
- $\tau_i$ : tiempo característico de movimiento de la persona  $i$
- $\mathbf{f}_{ij}(t)$ : fuerza ejercida por persona  $j$  sobre persona  $i$
- $\mathbf{f}_{iw}(t)$ : fuerza ejercida por pared  $w$  sobre persona  $i$
- $\mathbf{f}_{ip}(t)$ : fuerza ejercida por el pilar  $p$  sobre persona  $i$

Para simplificar, asumimos que todos tienen masa unitaria. De ahora en adelante omitiremos el uso de la variable tiempo  $t$

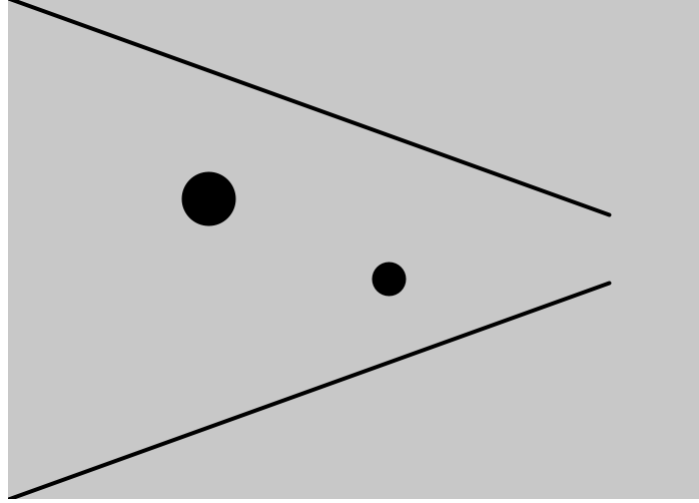


Figure 1: El setup de paredes.

## 2.1 Vecindad de acción

Al igual que en el caso de Reynolds visto en clases, las fuerzas que experimenta una persona son sólo de aquellas personas, paredes y pilares que se encuentran en una vecindad circular definida por el radio  $R$ . Luego, si  $d_{ij} > R$ , entonces las fuerzas valen cero.

## 3 Setup

La simulación consiste en que un conjunto de personas se dirigen por un pasillo hacia una salida, relativamente estrecha. El pasillo se angosta a medida que nos acercamos a la salida, como muestra la Figura 1.

Las dimensiones de la sala son de  $\text{width}=700 \times \text{height}=500$ . La pared superior comienza en  $(0,0)$  y termina en  $(600,216)$ . La pared inferior comienza en  $(600,284)$  y termina en  $(0,500)$ . Recuerde que en processing el sistema de coordenadas tiene su origen en la esquina superior izquierda, y que el eje  $x$  es la eje horizontal y el  $y$  el vertical.

En el pasillo hay dos pilares circulares, como se muestra en la Figura 1. El pilar más grande está en  $(200,200)$  y es de diámetro 50. El pilar pequeño se encuentra en  $(380,280)$  con un diámetro de 30.

Inicialmente, las personas entrarán al pasillo desde alguna posición aleatoria del extremo izquierdo de la sala, y se moverán hacia la derecha intentando salir de la sala. A medida que se acercan a la salida, las fuerzas entre ellas será cada vez más grandes, pues estarán más cercanas, y por lo tanto las fuerzas de repulsión hará que algunas personas tengan que moverse en dirección hacia las paredes. Este movimiento es el resultado natural del juego de fuerzas. Claramente, las personas no pueden atravesar los pilares.

Las personas tendrán un diámetro de 15 unidades y se dibujarán como círculos.

Note que el ancho de la salida es suficientemente grande como para que quepan varias personas a la vez, y por lo tanto la simulación no debe forzar cuántas y cómo las personas salen por la salida. Lo importante es que las personas tengan una dirección hacia dónde dirigirse. Esta dirección es justamente la dirección deseada de movimiento  $\mathbf{e}_i^0$  (ver Ecuación (1))

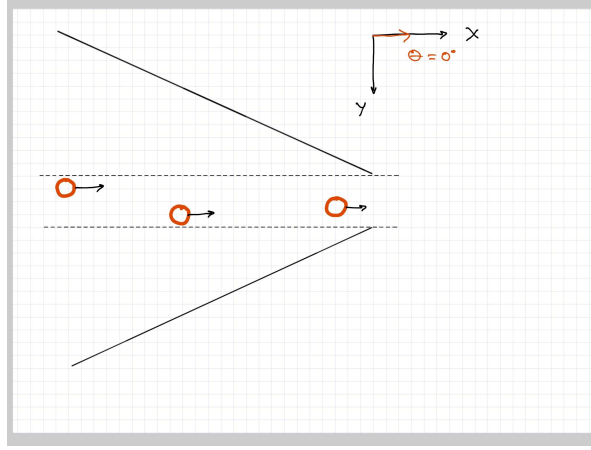


Figure 2: Dirección deseada de movimiento cuando se encuentra frente a la salida.

### 3.1 Dirección deseada de movimiento

La dirección deseada de movimiento está determinada por la posición actual de la persona, la forma de la sala y la ubicación de la salida. En nuestro caso, es relativamente simple establecer la dirección deseada.

**Dirección deseada cuando la persona se encuentra frente a la puerta** Cuando la posición de una persona se encuentre frente a la puerta, entonces su dirección de movimiento es derecho hacia la salida. Esto se ejemplifica en la Figura 2, donde se observa tres personas que se encuentran en varias posiciones en la sala, pero todas ellas "frente" a la salida. En este caso su dirección deseada de movimiento, respecto del eje  $x$  es  $\theta = 0$ , es decir

$$\mathbf{e}_i^0 = [1 \ 0]$$

Note que esta dirección es independiente de la dirección actual de movimiento ( $\mathbf{v}_i(t)$ ).

**Dirección deseada cuando la persona NO se encuentra frente a la puerta** Cuando la persona se encuentra fuera del "pasillo principal", como ejemplifica la Figura 3, la persona apunta hacia el extremo de la salida más cercano a él. Esto es lo que va provocando el efecto embudo en las salidas.

Si la persona se encuentra en la parte superior de la sala, apunta a salir por la posición (600, 224). Si se encuentra en la parte inferior, su punto es (600, 276). Note que todos quienes se encuentren en la parte superior de la sala tendrán un  $\theta$  positivo, quienes se encuentren en la parte inferior un  $\theta$  negativo.

Los pilares ejercerán una fuerza tal que, aunque la dirección deseada de movimiento sea hacia la salida, la dirección real sea otra, que le permita rodear el pilar. Una vez que una persona sale de la sala continúa con dirección  $\theta = 0$ .

## 4 Creando personas

La creación de personas se hará en forma aleatoria a partir del extremo izquierdo de la sala. Se puede asumir, que todas comienzan con un  $x = 5$ . La componente  $y$  puede ser muestreada usando distribución uniforme en el rango [15, 485].

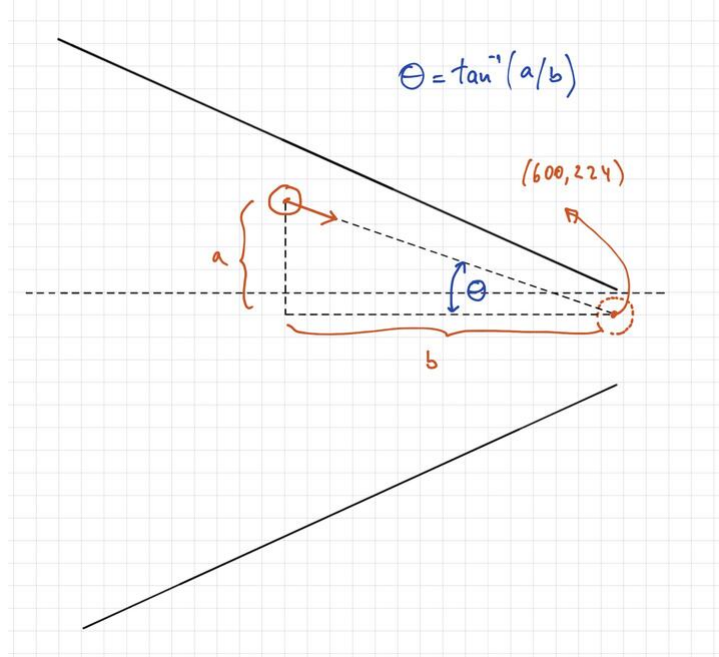


Figure 3: Dirección deseada de movimiento cuando no se encuentra frente a la salida.

**Usted debe idear un mecanismo para que las personas NO se creen todas al mismo tiempo,** pero en forma continua. La simulación debe continuar ad infinitum. Cuando una persona sale de la sala, es eliminada de la simulación.

Todas las personas comienzan con velocidad  $\mathbf{v}_i(0) = 0$ , y dirección de salida  $\mathbf{e}_i(0)$  según la descripción anterior.

## 5 Constantes

Las constantes de la simulación son

- $A_i = 25.0$
- $B_i = 0.08$
- $k = 750$
- $\kappa = 3000$
- $v_i^0 = 5.0$
- $\tau_i = 0.5$

Sin embargo, como sabemos **Processing** incorpora implícitamente un  $\Delta_t$  en su método de actualización del sistema, por lo que usted debe ajustar estos valores tal que la simulación mantenga un flujo apropiado de personas.

---

**Fuerza máxima y velocidad máxima** En los sistemas de Reynold's, la simulación acota la velocidad a una velocidad máxima y la fuerza a una fuerza máxima. Esto tiene como objetivo evitar que las fuerzas se multipliquen y provoquen aumento sucesivo de las velocidades de los agentes.

Luego, usted debe incorporar una fuerza máxima (y posiblemente) una velocidad máxima si es que las constantes de la simulación y el avance del tiempo no logran estabilizar la simulación. Se recomienda cambiar esas variables en la simulación de las aves para visualizar qué sucede cuando esos valores son grandes.

## 6 Entregable

Envíe por correo la solución `movimiento.pde` (puede incluir varios archivos además del principal) a más tardar el

**01 de agosto del 2023 a las 23:59 hrs.**

Indicando claramente los integrantes del grupo