



Universidad
de Huelva

Tema 9

Esqueletos y articulaciones

9.1 Cinemática

9.2 Esqueletos

9.3 Proceso de posicionamiento

9.4 Tipos de articulaciones

9.1 Cinemática

9.2 Esqueletos

9.3 Proceso de posicionamiento

9.4 Tipos de articulaciones

- **Cinemática:** Es el análisis del movimiento independientemente de las fuerzas físicas. La cinemática trata con la posición, velocidad, aceleración y sus homólogos en giro, orientación, velocidad angular y aceleración angular.
- **Cinemática “directa”:** Es el proceso de calcular datos geométricos en el espacio “mundo” con diferentes grados de libertad (parametros). Por ejemplo, dado un robot articulado, calcular la posición de una mano a partir de los valores de ángulos de giro de sus articulaciones.

- **Cinemática “inversa”:** Es el proceso de calcular un conjunto de parámetros (grados de libertad) que hace que se alcance algún objetivo en el espacio (ejemplo: colocar la mano en el pomo de una puerta ...).
- **Nota:** La cinemática es toda una rama de las matemáticas y hay varios otros aspectos de la cinemática que no entran en esta descripción .

9.1 Cinemática

9.2 Esqueletos

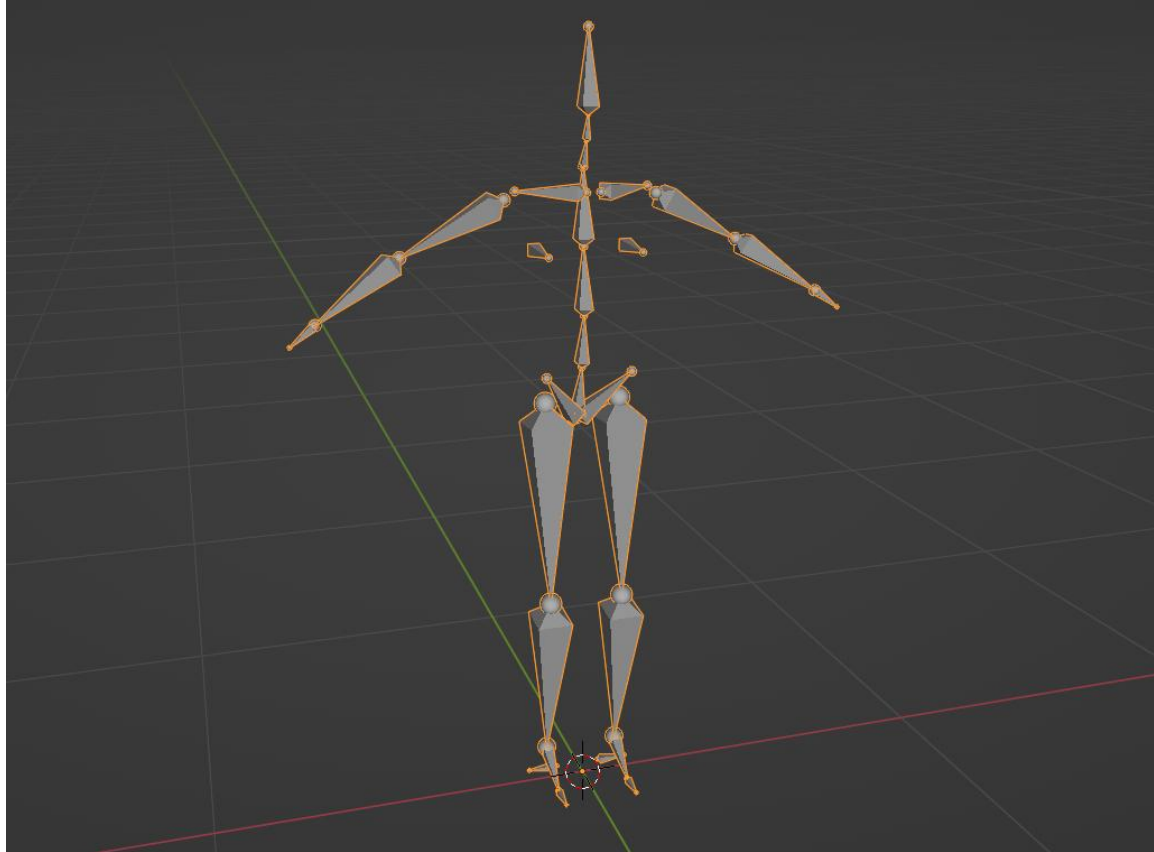
9.3 Proceso de posicionamiento

9.4 Tipos de articulaciones

- **Esqueleto:** Es un armazón invisible que permite para manipular la forma de un personaje. La piel (skin) y otros datos geométricos del personaje se posicionan tomando como referencia la posición de los “huesos” y “articulaciones” del esqueleto. Formalmente es un conjunto de articulaciones distribuidas en una estructura de árbol.
- **Articulación:** Es una parte de un esqueleto que se puede mover. Puede estar conectada a otras articulaciones del esqueleto, de manera que el movimiento de la articulación arrastra a todas las articulaciones hijas unidas a ella. El comportamiento de las articulaciones se representa mediante matrices de transformación.

- **Hueso:** Representa la parte sólida del esqueleto que está vinculada a una articulación. Como realmente un esqueleto es una estructura invisible, el concepto de “hueso” no tiene demasiada utilidad ya que esta “parte sólida ficticia” nunca forma parte de la representación gráfica. En la práctica el término se utiliza como un sinónimo de articulación. Por ejemplo, se podría hacer referencia a la articulación del hombro o hueso de la parte superior del brazo (húmero) y significan la misma cosa.

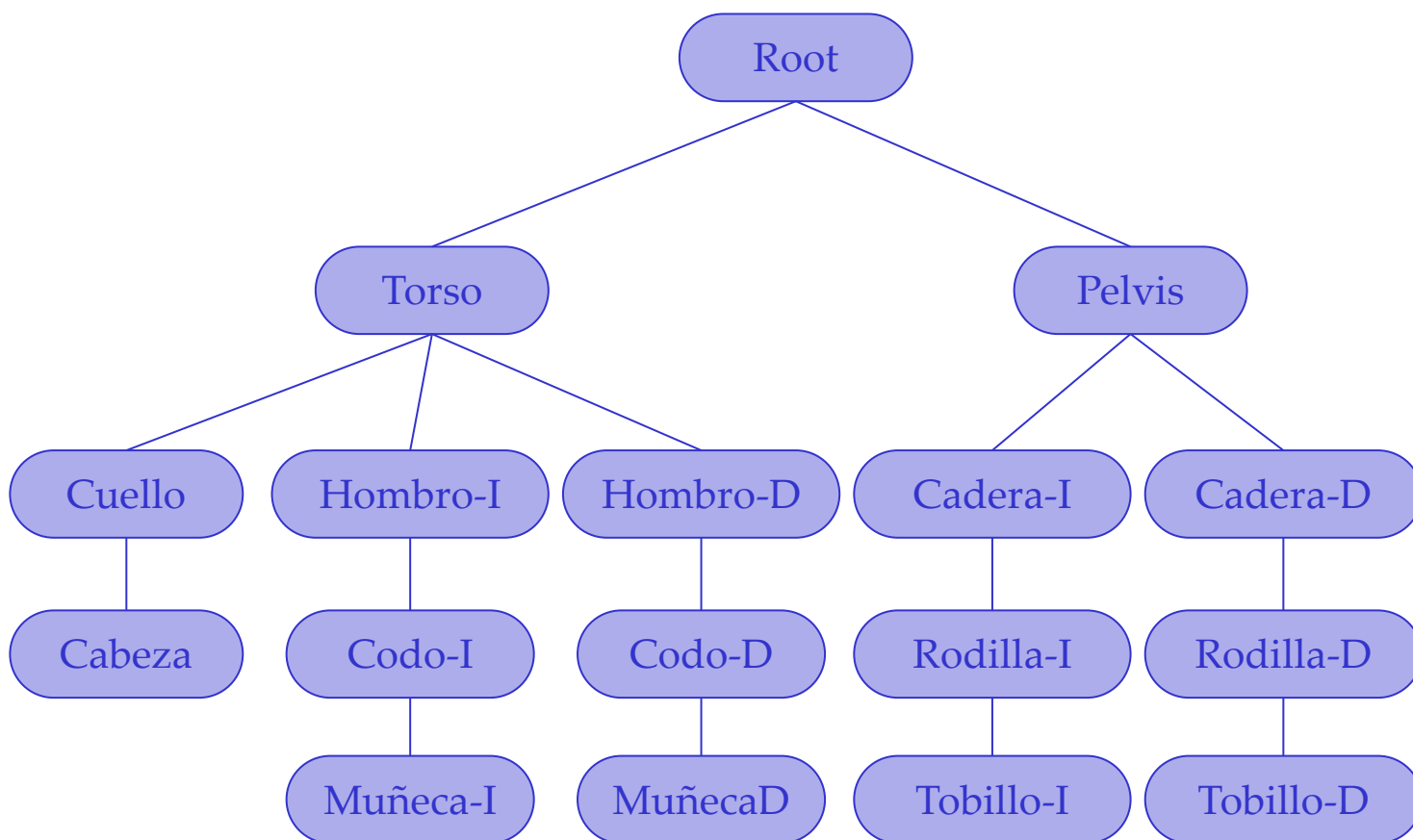
- Ejemplo de esqueleto



- **Grado de Libertad – GDL (Degree of freedom – DoF):** Es una variable φ que describe un determinado movimiento dentro de una articulación (rotación respecto a un cierto eje, traslación en una cierta dirección, ...).
- Un sólido rígido tiene 6 grados de libertad: La posición viene determinada por tres componentes (x,y,z) y la orientación por otros tres componentes.
- Las articulaciones típicas tienen entre 1 y 6 grados de libertad ($\varphi_1 \dots \varphi_N$)
- El cambio de los valores de los GDL a lo largo del tiempo hace que se realice la animación del esqueleto.

- El concepto de grado de libertad puede ampliarse más allá de rotaciones y traslaciones para referirse a cualquier parámetro animatable dentro de la plataforma del personaje.

- Ejemplo de esqueleto como árbol de articulaciones.



9.1 Cinemática

9.2 Esqueletos

9.3 Proceso de posicionamiento

9.4 Tipos de articulaciones

- Información asociada a cada articulación:
 - Tipo de articulación
 - Valores de los grados de libertad
 - Matriz de transformación local (respecto a la articulación padre)
 - Matriz de transformación global (respecto al mundo)
 - Límites de los grados de libertad
 - Vector de desplazamiento (respecto a la articulación padre)
 - Referencias a las articulaciones hijas (árbol)

- Proceso de posicionamiento del esqueleto:
 1. Especificar todos los valores GDL para el esqueleto.
 2. Recorrer recursivamente el árbol de articulaciones a partir de la raíz y utilizar cinemática directa para calcular las matrices del mundo.
 3. Utilizar las matrices del mundo de cada articulación para situar los puntos de la piel y generar la imagen.

Nota: Las matrices pueden ser usadas también para otras cosas tales como detección de colisión, etc.

- Proceso de posicionamiento del esqueleto:
 - En el recorrido recursivo del árbol, cada articulación primero calcula su matriz local, L_{joint} , basada en los valores de sus GDL y en el tipo de articulación:

$$L_{\text{joint}}(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N)$$

- A continuación se calcula la matriz mundo de la articulación, W_{joint} , concatenando L_{joint} con la matriz mundo de la articulación padre, W_{parent} :

$$W_{\text{joint}} = W_{\text{parent}} \cdot L_{\text{joint}}$$

- Proceso de posicionamiento del esqueleto:
 - Entre los parámetros de la articulación hay que considerar el desplazamiento (*offset*) respecto a la posición de la articulación padre. Para ello hay que realizar una transformación respecto a la articulación padre que consiste en una traslación dada por el vector de desplazamiento, r_{offset} .

$$L_{offset} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_x \\ 0 & 1 & 0 & r_y \\ 0 & 0 & 1 & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Proceso de posicionamiento del esqueleto:
 - Es aconsejable limitar cada GDL a cierto rango (por ejemplo, el codo debería ser limitado de 0° a 150°).
 - Por lo general, en un personaje realista, todos los grados de libertad serán limitados excepto los que controlan la raíz.

- Skeleton Rigging
 - Configurar el esqueleto es la parte inicial y mas importante del proceso de rigging.
 - Algunas veces, los esqueletos de los personajes son construidos antes que la piel (partes), mientras otras veces, ocurre lo contrario.
 - Para configurar un esqueleto , un artista usa una herramienta interactiva para:
 - Construir el arbol.
 - Posicionar el desplazamiento de la articulacion.
 - Configurar los tipos de articulaciones.
 - Especificar los limites en las articulaciones.
 - Posiblemente mas cosas...

- Poses
 - Una vez que el esqueleto está configurado, se puede entonces ajustar cada uno de los GDL para especificar la pose del esqueleto
 - Podemos definir una pose Φ de forma mas formal como un vector de N numeros que mapea cada uno de los valores de GDL en el esqueleto.

$$\Phi = [\varphi_1 \ \varphi_2 \ \dots \ \varphi_N]$$

- Una pose es una unidad conveniente que puede ser manipulada por un sistema de animación de más alto nivel y después manejada a bajo nivel por el esqueleto.
- Generalmente, cada articulación tendrá alrededor de 1-6 GDLs, pero en total el personaje podría tener 100+ GDLs en el esqueleto.
- Tener en cuenta que los GDLs pueden ser usadas también por otras cosas distintas a las articulaciones, como se aprenderá mas tarde...

9.1 Cinemática

9.2 Esqueletos

9.3 Proceso de posicionamiento

9.4 Tipos de articulaciones

- Rotacionales
 - Bisagra: 1-GDL
 - Universal: 2-GDL
 - Rotuladas: 3-GDL
 - Angulos de Euler
 - Quaternions
- Traslacionales
 - Prismaticas: 1-GDL
 - Traslacionales: 3-GDL (o cualquier numero)
- Componentes
 - Libre
 - Atornillada
 - Restringida
 - Etc.
- No-Rigidas
 - Escaladas
 - Shear (alargadas o acortadas en un eje)
 - Etc.
- Diseñadas por ti mismo...

Articulación de tipo bisagra o *hinge joint* (1-GDL rotacional)

- Rotación sobre el eje X:

$$\mathbf{L}_{Rx}(\theta_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_x \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x & r_y \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Articulación de tipo bisagra o *hinge joint* (1 GDL rotacional)

- Rotación sobre el eje Y:

$$\mathbf{L}_{Ry}(\theta_y) = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y & r_x \\ 0 & 1 & 0 & r_y \\ -\sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Articulación de tipo bisagra o *hinge joint* (1 GDL rotacional)

- Rotación sobre el eje Z:

$$\mathbf{L}_{Rz}(\theta_z) = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 & r_x \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 & r_y \\ 0 & 0 & 1 & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Articulación de tipo bisagra o *hinge joint* (1 GDL rotacional)

- Rotación sobre un eje arbitrario \mathbf{a} :

$$c_\theta = \cos(\theta) \quad s_\theta = \sin(\theta)$$

$$\mathbf{L}_{Ra}(\theta) = \begin{bmatrix} a_x^2 + c_\theta(1 - a_x^2) & a_x a_y (1 - c_\theta) - a_z s_\theta & a_x a_z (1 - c_\theta) + a_y s_\theta & r_x \\ a_x a_y (1 - c_\theta) + a_z s_\theta & a_y^2 + c_\theta(1 - a_y^2) & a_y a_z (1 - c_\theta) - a_x s_\theta & r_y \\ a_x a_z (1 - c_\theta) - a_y s_\theta & a_y a_z (1 - c_\theta) + a_x s_\theta & a_z^2 + c_\theta(1 - a_z^2) & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Articulación universal (2 GDL rotacionales)

- Para una articulación con 2-GDL que primero rota sobre X y después sobre Y:

$$\mathbf{L}_{Rxy}(\theta_x, \theta_y) = \begin{bmatrix} c_y & s_x s_y & c_x s_y & r_x \\ 0 & c_x & -s_x & r_y \\ -s_y & s_x c_y & c_x c_y & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



- Diferentes matrices pueden ser formadas para diferentes combinaciones de ejes

Articulación esférica o *ball joint* (3 GDL rotacionales)

- La orientación se puede expresar mediante *ángulos de Euler* o mediante *quaterniones*.
- Una posible combinación de ángulos de Euler sería primero rotar sobre el eje X, después sobre Y y por último sobre Z:



$$\mathbf{L}_{Rxyz}(\theta_x, \theta_y, \theta_z) = \begin{bmatrix} c_y c_z & s_x s_y c_z - c_x s_z & c_x s_y c_z + s_x s_z & 0 \\ c_y s_z & s_x s_y s_z + c_x c_z & c_x s_y s_z - s_x c_z & 0 \\ -s_y & s_x c_y & c_x c_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Diferentes combinaciones de ángulos dan lugar a matrices diferentes.

Articulación esférica o *ball joint* (3 GDL rotacionales)

- Cuaterniones

$$\mathbf{q} = [q_x \quad q_y \quad q_z \quad q_w] \quad |\mathbf{q}| = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2 + q_w^2} = 1$$

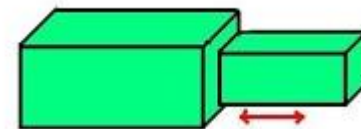
$$\mathbf{q} = \left[a_x \sin \frac{\theta}{2} \quad a_y \sin \frac{\theta}{2} \quad a_z \sin \frac{\theta}{2} \quad \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$\mathbf{L}_Q(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} 1 - 2q_y^2 - 2q_z^2 & 2q_x q_y - 2q_w q_z & 2q_x q_z + 2q_w q_y & r_x \\ 2q_x q_y + 2q_w q_z & 1 - 2q_x^2 - 2q_z^2 & 2q_y q_z - 2q_w q_x & r_y \\ 2q_x q_z - 2q_w q_y & 2q_y q_z + 2q_w q_x & 1 - 2q_x^2 - 2q_y^2 & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Articulación prismática (1 GDL translacional)

- Traslación con 1-GDL a lo largo de un eje arbitrario a :

$$\mathbf{L}_{Ta}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_x + t \cdot a_x \\ 0 & 1 & 0 & r_y + t \cdot a_y \\ 0 & 0 & 1 & r_z + t \cdot a_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Articulaciones Translacionales (3-GDL)

- Para un traslación general con 3-GDL:

$$\mathbf{L}_{Txyz}(\mathbf{t}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_x + t_x \\ 0 & 1 & 0 & r_y + t_y \\ 0 & 0 & 1 & r_z + t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Otras articulaciones

- Compuestas
 - Libre
 - Tornillo
 - Restringida
 - Etc.
- No-Rigidas
 - Escaladas (1 eje, 3 ejes, preservación de volumen...)
 - Atornilladas
 - Etc.