Informática Gráfica II

Object-oriented Graphics Rendering Engine

Skeletal Animation

&

SceneNode Animation

Material original: Ana Gil Luezas
Adaptación al curso 24/25: Alberto Núñez
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación
Universidad Complutense de Madrid

Animación

- Modificar el valor de uno o más parámetros de un objeto a lo largo de un periodo de tiempo.
  - Algunos parámetros que se pueden modificar: posición, orientación, tamaño, color, coordenadas de textura.

- Para especificar cómo varían los valores con el tiempo se puede utilizar una función o un muestreo.
  - Muestreo. Secuencia (*track*) de instantáneas (*keyframes*): valores de los parámetros en distintos instantes de tiempo

    $Kf_0=<t_0, v_0>, Kf_1=<t_1, v_1>, \ldots , Kf_n=<t_n, v_n>$

- La información necesaria para cada instantánea depende del tipo de animación:
  - Valor numérico
  - Transformación (posición, escala y orientación)
  - Malla

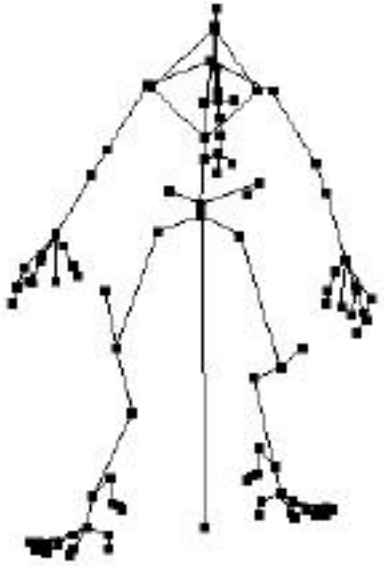
Los valores correspondientes a los puntos intermedios del tiempo se obtienen por interpolación de los valores vecinos

Animación

- En OGRE hay varias clases de animación:
  - **Numeric Value Animation**. Por ejemplo: intensidad de la luz
  - **SceneNode Animation**: modifica la posición, orientación y escala de los nodos de la escena. El valor es una transformación:
    - Transformación: Matriz4x4
    - Transformación:
      - Posición (vec3)
      - Orientación (quaternion -> vec4)
      - Escala (vec3 / float para escalas uniformes)
  - **Vertex Animation**: modifica los vértices de la malla. El valor es una malla.
    - Hay dos subtipos: *Morph* y *Pose* (gestos faciales)
  - **Skeletal Animation**: El valor es una transformación sobre una articulación de un esqueleto ligado a una malla

Skeletal Animation

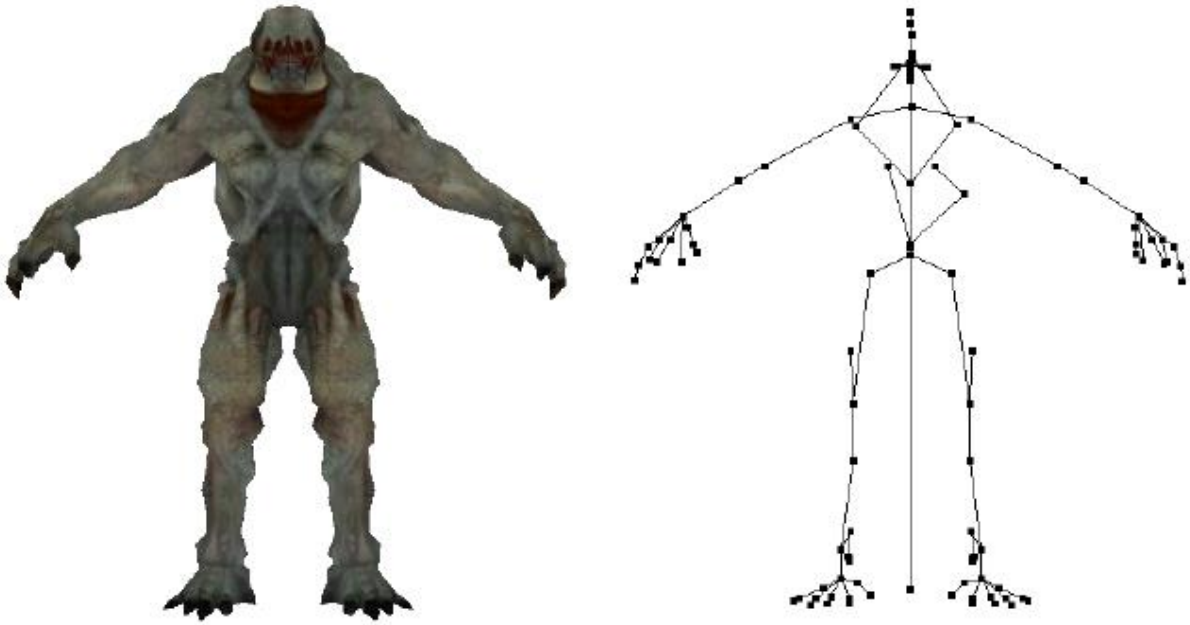
- **Skeletal trees:** Análogos al grafo de la escena.
  - Constan de una jerarquía de articulaciones (joints / bones) dadas por una posición, una rotación y una escala.
  - La transformación de una articulación actúa sobre algunos vértices de la malla (los enganchados a la articulación)



Puedes ver, por ejemplo, robot.skeleton.xml: <bones> y <bonehierarchy>

Skeletal Animation

- **Skeletal meshes:** Además contienen información sobre la asociación entre vértices y articulaciones.
  - Al asociar una malla con su esqueleto (rigging) se elige una pose adecuada (bind pose).
  - Las transformaciones asociadas son el punto de partida de las animaciones.



Puedes ver, por ejemplo, robot.mesh.xml: <boneassignments>

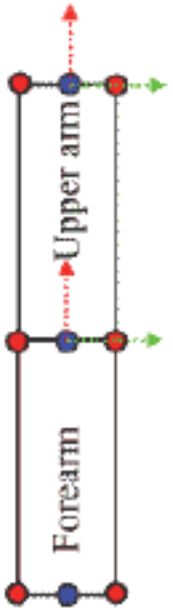
❑ Skeletal meshes: joints (bones) and weights

Grafo de la escena: Todos los vértices de la malla se adjuntan a un único nodo. Todos los vértices de la malla se ven afectados por igual por la transformación del nodo.

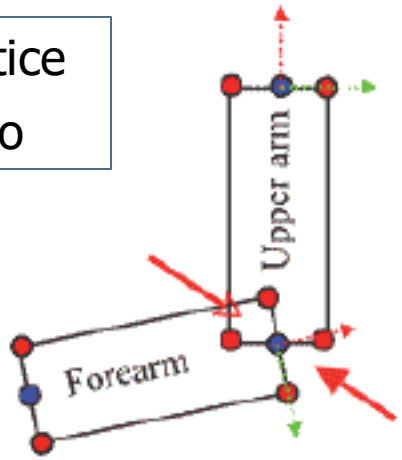
Esqueletos: Cada vértice de la malla se puede enganchar a varias articulaciones con distintos pesos.

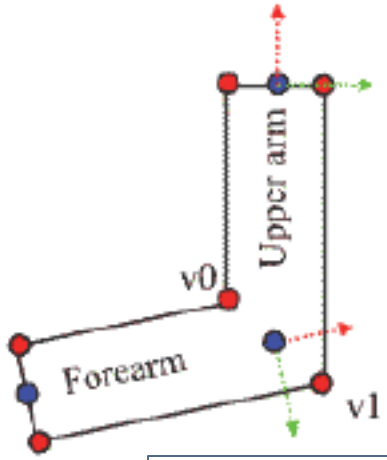
Cada vértice de la malla se ve afectado por las transformaciones de las articulaciones a las que está enganchado.

Mayor coste en tiempo y espacio.



Rojo: vértice
Azul: nodo





Rojo: vértice
Azul: articulación

Skeletal meshes: joints (bones) and weights

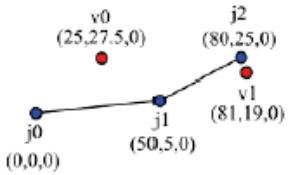
Position
Texture Coordinates
Normal
Bone ID0 | Weight 0
Bone ID1 | Weight 1
Bone ID2 | Weight 2
Bone ID3 | Weight 3

Información en la malla para cada vértice: posición, coordenadas de textura, normal, enganches a las articulaciones (articulación y peso).

$$\sum t(v).w$$

Coordenadas del vértice

Transformación y peso de la articulación



Vertex v0
Vertex pos: (0,25,0)
Vertex joint A: j0
Vertex weight A: 0.5
Vertex joint B: j1
Vertex weight B: 0.5

Vertex v1
Vertex pos: (10,0,0)
Vertex joint A: j1
Vertex weight A: 0.3
Vertex joint B: j2
Vertex weight B: 0.7

Rojo: vértice	v0: (0, 25, 0) + 0.5 (50, 5, 0) = (25, 27.5, 0)
Azul: articulación	v1: (10, 0, 0) + 0.3 j1 + 0.7 j2 = (81, 19, 0)

Skeletal Animation

- **Animating skeletal meshes (skinning)**
  - Mover el esqueleto: Definir las animaciones del esqueleto
  - Cada animación consta de una secuencia de key frames con las transformaciones que se quieren aplicar al esqueleto

    Puedes ver, por ejemplo, robot.skeleton.xml: <animations>

  - Se pueden combinar varias animaciones para obtener animaciones compuestas:
    - Piernas corriendo + mover los brazos
    - Piernas corriendo + disparar

Para que se desplace hay que añadir una animación al nodo: SceneNode Animation

AnimationState

- Una animación se define con un **AnimationState* animationState**
  - Puede tomar valor de varias formas:

```
mSM->createAnimationState(name); //mSM gestor de la escena de la clase
entity->getAnimationState(name); //entity se construye sobre una malla
```

si el modelo es una mesh que tiene asociado un esqueleto con sus propias animaciones (name) predefinidas (Sinbad.mesh, por ejemplo)

- Las animaciones se activan y se repiten mediante:

```
animationState->setEnabled(true);
animationState->setLoop(true);
```

- Para que una animación avance es necesario indicarle al gestor de la animación el tiempo transcurrido.
  - Para ello se puede usar el método **addTime()** de **AnimationState**

```
animationState-> addTime(evt.timeSinceLastFrame);
```

- Para reiniciar la animación:
  - `animationState->setTimePosition(0.0);`

AnimationState

- Se puede averiguar el nombre (**name**) de todas las animaciones predefinidas de una malla (**mesh**) mediante el siguiente código:

```
AnimationStateSet * aux = ent->getAllAnimationStates();
auto it = aux->getAnimationStateIterator().begin();
while (it != aux->getAnimationStateIterator().end()){
      auto s = it->first;
      ++it;
      cout << "Animation name: " << s << endl;
}
```

- Algunos nombres de las animaciones de **Sinbad:**
  - **Dance** (con el que Sinbad baila y saca la lengua)
  - **RunBase y RunTop** (con el que Sinbad mueve las piernas y corre, mientras la parte de arriba mueve los brazos acompasadamente), …

- Para que, además de mover el esqueleto, la entidad se desplace, se reoriente, se escale
  - Hay que añadir animación al nodo con **SceneNode Animation**

Adjuntar entidades al esqueleto

- Podemos adjuntar una entidad "independiente" a una articulación de otra entidad con esqueleto mediante el siguiente comando

```
entity->attachObjectToBone("BoneName", MovableObject* );
```

- Por ejemplo, para añadir espada al brazo derecho de Sinbad

```
entity->attachObjectToBone("Handle.R", sword);
```

  - donde **sword** es una entidad construida con **Sword.mesh**

- Los elementos se "despegan" (detach) con

```
entity->detachObjectFromBone(MovableObject*);
```

- Para consultar el nombre de las articulaciones o huesos se utiliza

```
SkeletonInstance * skeleton = sinbadEnt->getSkeleton();
int numBones = skeleton->getNumBones();
for (int i=0; i<numBones; i++){
        cout << skeleton->getBone(i)->getName() << endl;
}
```

Animaciones y esqueleto de Sinbad

- Animaciones:
  - Dance
  - DrawSwords
  - HandsClosed
  - HandsRelaxed
  - IdleBase
  - IdleTop
  - JumpEnd
  - JumpLoop
  - JumpStart
  - RunBase
  - RunTop
  - SliceHorizontal
  - SliceVertical

- Esqueleto
  - ThumbMed.R
  - IndexFingerMed.R
  - Clavicle.R
  - PinkyDist.L
  - IndexFingerDist.R
  - Cheek.L
  - MiddleFingerMed.L
  - Jaw
  - TongueMid
  - Ulna.L
  - Handle.R
  - Ulna.R
  - Chest
  - Foot.L
  - Foot.R
  - Hand.R
  - IndexFingerDist.L
  - Cheek.R
  - PinkyDist.R
  - IndexFingerProx.R
  - Handle.L
  - RingFingerProx.R
  - LowerLip
  - Neck
  - TongueBase
  - Head Sheath.R
  - Stomach
  - Toe.L
  - MiddleFingerProx.L
  - RingFingerMed.L
  - PinkyMed.L
  - MiddleFingerMed.R
  - ThumbProx.L
  - PinkyMed.R
  - Clavicle.L
  - MiddleFingerProx.R
  - Toe.R
  - Sheath.L
  - TongueTip
  - RingFingerProx.L
  - Waist
  - MiddleFingerDist.R
  - Hand.L
  - Humerus.R
  - RingFingerDist.L
  - Eye.L
  - Humerus.L
  - RingFingerDist.R
  - MiddleFingerDist.L
  - IndexFingerMed.L
  - ThumbMed.L
  - Root
  - Thigh.L
  - UpperLip
  - RingFingerMed.R
  - Eye.R
  - Brow.L
  - Brow.C
  - Calf.L
  - PinkyProx.L
  - ThumbDist.L
  - ThumbProx.R
  - ThumbDist.R
  - Calf.R
  - PinkyProx.R
  - IndexFingerProx.L
  - Brow.R
  - Thigh.R

SceneNode Animation

- Aplicando una transformación al nodo en función del tiempo
  - Por ejemplo, en el método `frameRendered()`

Ejemplo:

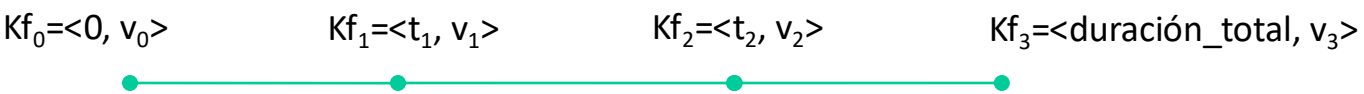
```
void Obj::frameRendered(const FrameEvent &  evt){
  mNode->yaw(Ogre::Degree(10 * evt.timeSinceLastFrame));
}
```

velocidad

Tiempo transcurrido (en segundos)

- Muestreo: Secuencia (*track*) de instantáneas (*keyframes*)

  K_f=<time, value> // Los valores son transformaciones



Los valores correspondientes a los puntos intermedios del tiempo se obtienen por interpolación de los valores vecinos. El valor de cada *keyframe* se da con respecto al estado inicial

SceneNode Animation (NodeAnimationTrack)

- Usamos un objeto de la clase **Animation**
  - Creado mediante el método `createAnimation(name, duration)` de la clase SceneManager
  - Para especificar caminos/secuencias (tracks)
    - Mediante el método `createNodeTrack(short)` (short es el número de camino)
- Los caminos son de la clase **AnimationTrack**
  - Para animaciones de nodos usamos la subclase **NodeAnimationTrack**
- Un camino se define por una secuencia de puntos por los que pasa y el tiempo que se tarda en alcanzarlos
- En una animación se pueden definir varios caminos.
  - Todos tienen que tener la misma duración total, aunque no la misma longitud (número de keyframes)

SceneNode Animation (NodeAnimationTrack)

- Un camino es una secuencia de instantáneas KeyFrames
  - Objetos que guarda información de

    (instante de tiempo, valor(=transformación) asociado al instante)
- Los keyFrames son objetos de la clase **`TransformKeyFrame`** que es subclase de **`KeyFrame`**, y se crean mediante

```
track->createNodeKeyFrame(time)
```

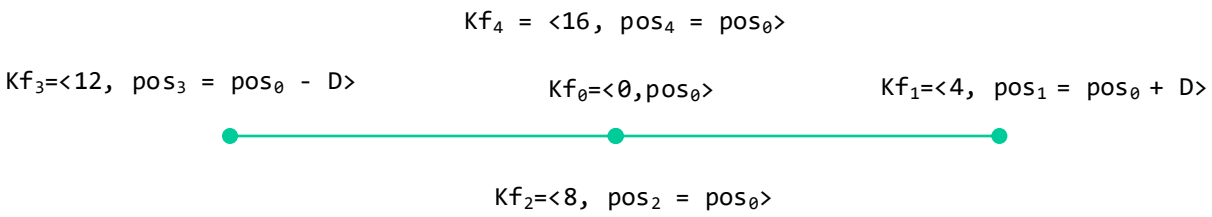
donde *time* es el momento en que se toma la instantánea

- Los valores de las instantáneas asociadas a un tiempo determinado son transformaciones que se obtienen mediante los métodos **`setTranslate`**, **`setRotation`** y **`setScale`**
- Para indicar el estado inicial del nodo:
  - `nodo->`**`setInitialState`**`()`
- Y para restablecer su estado inicial:
  - `nodo->`**`resetToInitialState`**`()`

Ejemplo: Desplazamiento lateral

```
// 5 keyFrames: origen (KF0), derecha (KF1), origen (KF2), izquierda (KF3), origen (KF4)
// Duración total: 16 (totalDuration = 16)
// Duración entre un KF y el siguiente: 4 (durStep = 4 = totalDuration / 4.)
// Posición origen: pos0  = inicial + traslación
// Longitud del desplazamiento: D (movementLength)
```

Los keyframes se deben crear en orden temporal



Las transformaciones hay que darlas a partir del estado inicial del nodo, que puede ser distinto de Kf_0.

El estado inicial de un nodo se puede fijar con **setInitialState** (por defecto es la identidad)

Ejemplo: Desplazamiento lateral (II)

```
// Variables
int movementLength = 50;
Real duration = 16.0;
Vector3 keyframePos(0, 0, 0);
Real durStep = duration / 4.0;
```

Distancia del desplazamiento

Duración de la animación

Posición del keyframe. Inicialmente (0, 0, 0)

Duración de cada frame

Nombre de la animación

```
// Create the animation and track
Animation * animation = mSM->createAnimation("sinbadWalking", duration);
animation->setInterpolationMode(Ogre::Animation::IM_SPLINE);
NodeAnimationTrack * track = animation->createNodeTrack(0);
track->setAssociatedNode(sinbadNode);
TransformKeyFrame * kf;
```

Modo de interpolación

Track 0

Asociación con el nodo

Ejemplo: Desplazamiento lateral (III)

```
// Keyframe 0 (Init state)
kf = track->createNodeKeyFrame(durStep * 0);
kf->setTranslate(keyframePos);

// Keyframe 1: Go to the right
kf = track-> createNodeKeyFrame(durStep * 1);
keyframePos += Ogre::Vector3::UNIT_X * movementLength;
kf->setTranslate(keyframePos);

// Keyframe 2: Go to the initial position
kf = track-> createNodeKeyFrame(durStep * 2);
keyframePos += Ogre::Vector3::NEGATIVE_UNIT_X * movementLength;
kf->setTranslate(keyframePos);

// Keyframe 3: Go to the left
kf = track-> createNodeKeyFrame(durStep * 3);
keyframePos += Ogre::Vector3::NEGATIVE_UNIT_X * movementLength;
kf->setTranslate(keyframePos);

// Keyframe 4: Go to the right (initital position)
kf = track-> createNodeKeyFrame(durStep * 4);
keyframePos += Ogre::Vector3::UNIT_X * movementLength;
kf->setTranslate(keyframePos);
```

Ejemplo: Desplazamiento lateral (IV)

```
// Our defined animation
animationState = mSM->createAnimationState("sinbadWalking");
animationState->setLoop(true);
animationState->setEnabled(true);
```

- En el método `frameRendered`, actualizamos el estado…

```
animationState->addTime(evt.timeSinceLastFrame);
```

Animaciones de Sinbad

- También es posible animar a Sinbad
- Las animaciones están previamente definidas en su malla (“Sinbad.mesh”).
- Ver nombre de las animaciones en la diapositiva 11

- Para obtener la animación y ”activarla”

```
AnimationState* animationState = sinbadEnt->getAnimationState("Dance");
animationState->setLoop(true);
animationState->setEnabled(true);
```

- Para “animar” la animación:

```
animationStateDance->addTime(evt.timeSinceLastFrame);
```

Recordatorio…

- Para gestionar una animación
  - Hay que crear un **`AnimationState`**, con el método **`createAnimationState()`**

- Recuerda añadir el tiempo transcurrido al gestor de la animación

```
void …::frameRendered(const Ogre::FrameEvent &  evt) {
     animationState->addTime(evt.timeSinceLastFrame);
}
```

- Para configurar el tipo de interpolación entre keyframes (por defecto **IM_LINEAR**)

```
animation->setInterpolationMode(Ogre::Animation::IM_SPLINE);
```

- Para especificar el estado inicial del nodo a partir del cual se dan las transformaciones

```
mNode->setInitialState();
```

  - Fija la transformación del nodo como estado inicial.

Quaternions

- **Orientación de un objeto en 3D (se identifica con el eje Z)**

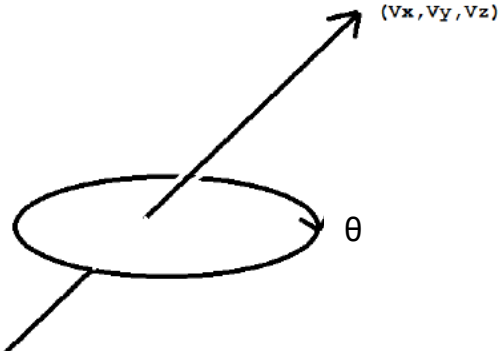
  Para las animaciones tenemos que usar cuaterniones para setRotation

  - **Ángulos de Euler.** Toda rotación se puede establecer con los tres giros básicos (no de forma única). Problemas: Gimbal lock e interpolación

Yaw(β) glRotatef(β,0,1,0)	Pitch(α) glRotatef(α,1,0,0)	Roll(γ) glRotatef(γ,0,0,1)

  - **Rotación sobre un eje genérico:**

    Vector normalizado (Vx, Vy, Vz)
    Ángulo de rotación (θ)



    - **Matriz 3x3 de rotación.**
      - glRotatef(θ, Vx, Vy, Vz)
      - Problemas: interpolación

  - **Cuaterniones.** La información se guarda en un vec4:

    $q = (w, x, y, z) = (\cos(\theta/2), V_x * \sin(\theta/2), V_y * \sin(\theta/2), V_z * \sin(\theta/2))$

    quartenion (4 valores) <-> matriz de rotación 3x3 (9 valores)

    Resuelve el problema de la interpolación de orientaciones

Quaternions

- Eje de rotación genérico normalizado: vector $V = (V_x, V_y, V_z)$
- Ángulo de rotación sobre el eje: θ
  - Esta información se guarda en la forma de cuaternión unitario:

$$(w, x, y, z) = (\cos(\theta/2), V_x * \sin(\theta/2), V_y * \sin(\theta/2), V_z * \sin(\theta/2))$$

$$= q = \cos(\theta/2) + V * \sin(\theta/2)$$

- **Composición de rotaciones**: se corresponde con el producto de cuaterniones.
  - Análogo al producto de matrices de rotación: Asociativo y no conmutativo.
  - Cuaternio entidad (sin rotación): `Quaternion::IDENTITY`
- **Cuaterniones en OGRE**

```
Ogre::Vector3 src(0, 1, 1);    Ogre::Vector3 dest(-1, 1, 0);

//quaternion para rotar de src a dest (ángulo menor)
Ogre::Quaternion quat = src.getRotationTo(dest);

//quaternion para pich(90) en forma de ángulo y eje de rotación
Quaternion q1 = Quaternion(Degree(90.0), Vector3(1, 0, 0));

//R5 = sqrt(0.5) para pich(90) en forma de cuaternión unitario
Quaternion q2 = Quaternion(R5, R5, 0, 0);
Quaternion qp = q1 * q2;  //pich(180)
Quaternion qm = Quaternion(Matrix3);
```

Quaternions

- Ejemplos de cuaterniones: vector (V_x, V_y, V_z) y ángulo (θ)
  - Se guarda en un Vec4 con la siguiente información:

    (w, x, y, z) = (cos(θ/2), V_x * sin(θ/2), V_y * sin(θ/2), V_z * sin(θ/2))

cos(0) = 1
sin(0) = 0

cos(90) = 0
sin(90) = 1

cos(45)
= sqrt(0.5)
sin(45)

w	x	y	z	Description
1	0	0	0	Identity quaternion, no rotation
0	1	0	0	180° turn around X axis
0	0	1	0	180° turn around Y axis
0	0	0	1	180° turn around Z axis
sqrt(0.5)	sqrt(0.5)	0	0	90° rotation around X axis
sqrt(0.5)	0	sqrt(0.5)	0	90° rotation around Y axis
sqrt(0.5)	0	0	sqrt(0.5)	90° rotation around Z axis
sqrt(0.5)	-sqrt(0.5)	0	0	-90° rotation around X axis
sqrt(0.5)	0	-sqrt(0.5)	0	-90° rotation around Y axis
sqrt(0.5)	0	0	-sqrt(0.5)	-90° rotation around Z axis

setRotation(Quaternion)

- En Ogre podemos obtener el cuaternión necesario para rotar un vector (**src**) y llevarlo a un vector destino (**dest**) usando el método `getRotationTo()`

```
Ogre::Vector3 src(0, 1, 1);
Ogre::Vector3 dest(-1, 1, 0);

//quaternion para rotar de src a dest (por el ángulo menor)
Ogre::Quaternion quat = src.getRotationTo(dest);
keyFrame->setRotation(quat);
```

- Para configurar el tipo de interpolación entre keyframes (por defecto **RIM_LINEAR**)

```
animation->setRotationInterpolationMode(Ogre::Animation::RIM_SPHERICAL);
```

- También se pueden usar cuaterniones para los rotaciones de los nodos

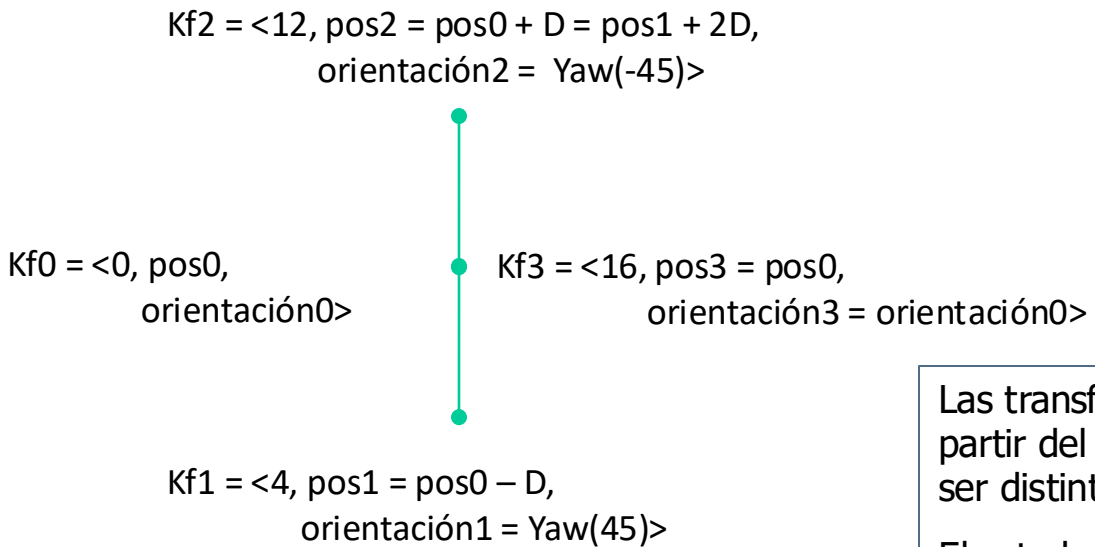
```
node->rotate(quat);
node->setOrientation(quat);
```

Ejemplo: Desplazamiento vaivén arriba y abajo

- Ejemplo: Desplazamiento vaivén abajo y arriba, girando ±45º en el eje Y

```
// 4 keyFrames: origen (KF0), abajo (KF1), arriba (KF2), origen (KF3)
// Duración total: 16
// Duración entre un KF y el siguiente: no uniforme -> 0, 4, 12, 16 (durPaso =4)
// Posición y orientación iniciales: pos0, orientación0
// Longitud del desplazamiento: D (longDesplazamiento)
```

Los keyframes se deben crear en orden temporal



Las transformaciones hay que darlas a partir del estado inicial del nodo, que puede ser distinto de Kf_0.

El estado inicial de un nodo se puede fijar con **setInitialState** (por defecto es la identidad)

Ejemplo: Desplazamiento vaivén arriba y abajo (II)

- Ejemplo: Hay que dar la transformación desde el estado inicial del nodo

```
Vector3  keyframePos(0.0);  Vector3 src(0, 0, 1); // posición y orientación iniciales
TransformKeyFrame * kf;  // 4 keyFrames: origen(0), abajo, arriba, origen(3)

kf = track->createNodeKeyFrame(durPaso * 0);   // Keyframe 0: origen
kf = track->createNodeKeyFrame(durPaso * 1);   // Keyframe 1: abajo

keyframePos += Ogre::Vector3::NEGATIVE_UNIT_Y * longDesplazamiento;
kf-> setTranslate(keyframePos);  // Abajo
kf-> setRotation(src.getRotationTo(Vector3(1, 0, 1))); // Yaw(45)
kf = track->createNodeKeyFrame(durPaso * 3);           // Keyframe 2: arriba

keyframePos += Ogre::Vector3::UNIT_Y * longDesplazamiento * 2;
kf-> setTranslate(keyframePos);  // Arriba
kf-> setRotation(src.getRotationTo(Vector3(-1, 0, 1))); // Yaw(-45)

kf = track-> createNodeKeyFrame(durPaso * 4);           // Keyframe 3: origen
```