

Simulación de personajes elásticos mediante FFD con volúmenes de Bézier

G. Sanmartín, R. Méndez, J. Flores, A. Otero

Instituto de Investigaciones Tecnológicas
Universidade de Santiago de Compostela
15782- Santiago de Compostela. España
julian.flores@usc.es

Resumen

En este artículo se presenta un sistema para dotar de comportamiento elástico a objetos 3D, dirigido a personajes animados, para su uso en entornos “cartoon” no reales manteniendo una coherencia visual con las propiedades físicas y estéticas del entorno. Para la dotación de propiedades elasticidad se utilizan deformaciones a nivel de vértice mediante volúmenes de Bézier que envuelven la zona de influencia. Para evitar inconsistencias visuales, se ha creado un sistema jerárquico de deformaciones sobre dichos volúmenes, de tal forma que al modificar un elemento del mismo se ven afectados todos los asociados al mismo. El proceso de deformación se realiza de forma transparente al usuario y en tiempo real.

1. Free-Form Deformation

Dentro de las múltiples metodologías de deformación a nivel de vértice, una que resulta particularmente apropiada para la propuesta es el Free-Form Deformation, introducido en 1986 por Sederberg & Parry [7]. Free-Form Deformation consiste en la transformación de un objeto mediante su introducción en un sistema de coordenadas ad-hoc, que se deformará de tal manera que sus ejes inicialmente rectos pasen a ser curvos, arrastrando esa deformación a los objetos dentro de él. En [7] se propone la analogía con un paralelepípedo flexible de plástico que envuelve el objeto, también flexible, que se deforma a medida que lo hace el plástico que lo envuelve. Una de las ventajas de este sistema es que no se modifica directamente la posición de los vértices del objeto, sino que se altera el sistema

local de coordenadas en el que se introduce, lo que permite que cualquier tipo de objeto sea susceptible de ser deformado por esta técnica. La base de este método se fundamenta en los volúmenes de Bézier (una generalización de las conocidas curvas de Bézier) y ha sido estudiada y detallada en [7][2].

La creación de estos volúmenes de Bézier según se expone en las referencias indicadas redundará en la definición de una retícula de deformación construida a partir de unos puntos $P_{i,j,k}$ de control, de tal modo que al desplazar cualesquiera de los mismos de su posición inicial en el entramado, y pasar la coordenada de cada vértice del objeto dentro del espacio del mismo de por la ecuación definida por el volumen de Bézier, el resultado será un vector con la posición deformada del punto en las coordenadas cartesianas regulares.

Después de calcular la posición resultante para cada punto, se dibuja el modelo de la forma habitual. Se puede animar esta deformación cambiando las posiciones de los puntos de control del volumen de Bézier en cada frame.

2. Deformaciones locales

La técnica FFD se concibe como un método de deformación global para contraer o expandir objetos. Sin embargo, también puede concebirse como una técnica local, centrandose esa deformación únicamente en ciertas partes del objeto. Una forma de simular la localización de la deformación sería aumentar el grado (y con ello los puntos de control del FFD) sin embargo, como ya se comenta en [4], los cambios siguen siendo globales y por tanto afectarán a todos los puntos del objeto, aunque según se aumente el número de

puntos de control se localizará más el grueso de la deformación. Aun así, el coste computacional de esta deformación aumenta enormemente, ya que con un bloque FFD de grado n el bucle interno se itera n^3 veces por vértice.

La solución pasa por utilizar más de un bloque FFD por objeto, ubicándolos convenientemente sobre las zonas de influencia. En este caso, se ubicarán estos bloques de acuerdo al sistema óseo definido por el personaje.

3. Combinación con un sistema óseo

En el caso de estudio, la intención es dotar a un personaje, construido como un sistema óseo de deformación de la malla (y al que se ha dotado de capacidades de cinemática inversa usando la técnica Cyclic-Coordinate Descent [3],[8]) de elasticidad, por ejemplo, en sus extremidades: el personaje podrá estirar un brazo y al descargarse la tensión elástica éste volverá a su situación de reposo de forma “intuitivamente consistente”.

Para ello se define un volumen de FFD que envuelva los vértices de los miembros en cuestión, como se muestra en la fig. 1a. Dado que la distancia al punto de control desplazado dentro del entramado del FFD (el valor $[0,1]$ de sus coordenadas u, v, w) es la base de la influencia de éste sobre los vértices, es importante que el volumen envuelva lo más ajustadamente posible los vértices de interés.

Si en ciertas condiciones el personaje, como consecuencia de una animación o de la cinemática inversa, desplaza su brazo, las posiciones de los vértices del mismo se habrían situado fuera del entramado, con lo que se perdería por completo toda deformación sobre ellos (fig. 1b).



Figura 1. Modelo y FFD en reposo(izda.), FFD sin asociar al hueso (centro) y sincronizado con éste (dcha.)

La solución pasa por recalcular la posición del entramado para moverlo de acuerdo al movimiento del elemento de interés que va a ser deformado. Para ello, antes de aplicar la deformación se asocia la retícula de deformación

al hueso de la parte anatómica del personaje sobre la que ejerce influencia para que se oriente como éste (fig. 1c).

Dentro de la estructura ósea del personaje, cada hueso i tendrá un sistema de coordenadas asociado T_i^F y T_i^W , siendo T_i^F un sistema local definido de acuerdo al hueso anterior en la jerarquía, y T_i^W el sistema de coordenadas absoluto en la escena. A la hora de hacer el cálculo se ubicará siempre la retícula de deformación en el origen de coordenadas y hacia direcciones (x, y, z) positivas, obligando a la parte implicada (los vértices asociados al hueso en particular) a trasladarse a dicha posición antes de calcularse la deformación a través de FFD. De este modo, siendo x_k el vértice k -ésimo involucrado en la deformación, e i el hueso al que se asocia, su posición x_{zero} respecto del origen puede calcularse según la ecuación 1.

$$x_{zero} = x_k * (T_i^W)^{-1} \quad (1)$$

Supóngase ahora que por efecto de una solución particular de cinemática inversa, el brazo se dobla de la forma que muestra la figura 2. Para evitar que ciertos vértices ajenos a la deformación que se hayan reubicado en el interior del entramado (en rojo en la figura), sean afectados por ella, se debe especificar qué vértices serán deformables, lo cual aumentará de paso la eficiencia.

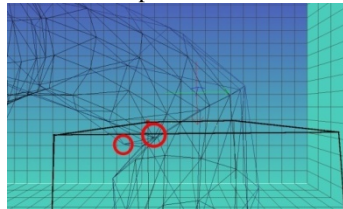


Figura 2. Vértices no deseados dentro de la región de interés

Esto puede hacerse de dos formas; la primera consiste en tomar la información del sistema óseo. Durante el proceso de creación de un sistema óseo se llama “skinning” a la asignación de porcentajes de influencia de un hueso sobre cada uno de los vértices que componen el objeto, de tal forma que si éste se desplaza de su posición original sólo se deformen los vértices que se conciben como afectados por el mismo. Dado que la retícula FFD ya ha sido asignada a un hueso dentro del sistema, se utiliza esta información para conocer los pesos de cada vértice y por tanto los vértices sobre los

que el hueso ejerce influencia, siendo estos los afectados por el FFD.

La segunda alternativa consiste en trabajar de forma específica para cada modelo de trabajo y estudiar explícitamente qué vértices sobre el mismo se desea que se deformen y almacenarlos, por ejemplo, en un archivo externo que será leído en tiempo de ejecución.

3.1. Jerarquía de deformaciones

Si se crea una deformación local para el antebrazo del personaje, de tal forma que se pueda estirar y contraer esta parte del brazo individualmente sin afectar al resto del modelo, puede ocurrir lo que se muestra en la fig. 3. La deformación llega a estirar los vértices pertenecientes a la zona de influencia de la retícula, pero no ejerce influencia alguna sobre los elementos o huesos inferiores en la jerarquía, que no se desplazan como resultaría esperable.

Para evitar esta inconsistencia visual, se crea un sistema jerárquico de deformaciones (fig. 4), similar al sistema óseo que se ha definido, de tal forma que mover el antebrazo implique no sólo mover estrictamente los vértices del mismo (por influencia del FFD) sino de los objetos de la jerarquía que caigan a un nivel inferior, pero teniendo en cuenta que sólo se desea desplazar los vértices externos al entramado FFD, en lugar de deformarlos aplicando las ecuaciones estudiadas. Es decir, aplicando una simple traslación, en la dirección apropiada (la del movimiento).

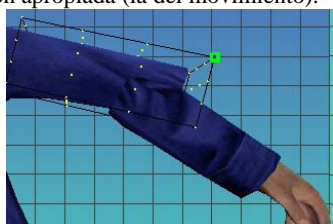


Figura 3. Deformación de los vértices de un hueso en una posición intermedia de la jerarquía

Esto resulta convenientemente adecuado ya que para dotar de elasticidad a un miembro del personaje, la idea es restringir el movimiento a la dirección definida por el hueso, de tal modo que el desplazamiento debe restringirse a la dirección del vector definido por los puntos inicial y final del

hueso en cuestión, coincidiendo este estiramiento además con la idea intuitiva de “estirar el brazo”.

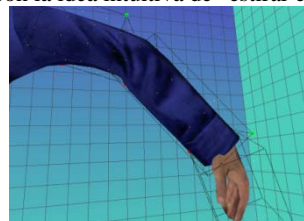


Figura 4. Jerarquía de deformaciones

4. Aplicación de elasticidad

Según el planteamiento del caso de estudio, lo ideal es que los puntos de control sean transparentes al usuario. El elemento elástico (el brazo en este caso) debe estirarse o contraerse con un desplazamiento automático de los puntos de control que, implícitamente y a través del FFD, desplace los vértices afectados. El usuario, por ejemplo, podría hacer clic en un elemento del escenario (un objeto lejano al personaje) y que éste automáticamente se estirase hasta lo que su cuerpo le permitiera para luego aplicarse el comportamiento elástico del brazo y alcanzarlo.

Gracias a la cualidad de la técnica FFD de abstraer la superficie de control del objeto deformado, dotar de elasticidad al sistema pasa únicamente por aplicar la ecuación de elasticidad escogida sobre los puntos de control del entramado FFD: no se trabaja directamente sobre los vértices del modelo si no sobre el entramado de deformación.

4.1. Oscilador armónico amortiguado

Como base para dotar de elasticidad el comportamiento de la deformación se ha escogido un oscilador armónico basado en la Ley de Hooke, por su simplicidad y sus resultados apropiados para esa idea de “consistencia intuitiva” de la que se hablaba con anterioridad.

En este caso es necesario que el brazo converja, una vez estirado y al cesar la fuerza tensora sobre el brazo, a su posición de reposo, en lugar de permanecer oscilando como lo haría un muelle regido por un movimiento armónico simple, de modo que es correcto decir que nuestro brazo será un oscilador armónico amortiguado,

cuya amortiguación se definirá de forma constante (como un coeficiente, K_d).

Basándose en este modelo, calcularemos la aceleración de cada punto de control considerando éstos con masa unidad y gracias a la mencionada ley de Hooke, en función del desplazamiento sobre su posición original (ec. 2).

$$a = \frac{\Delta x * K_d}{m} \quad (2)$$

Calculada la aceleración de cada punto de control, se precisa ahora determinar para cada instante la posición en el espacio de dichos puntos de control del entramado para animar el comportamiento elástico del mismo. Dado un punto de control P_i en un instante de tiempo t se desea conocer la posición de P_i en el instante $t + \Delta$ suponiendo que se conocen qué fuerzas actúan sobre la partícula en ese periodo de tiempo.

Para resolver la ecuación diferencial de segundo orden que determina la posición en el tiempo de cada punto de control, se puede representar dicha ecuación como dos ecuaciones diferenciales de primer orden y resolverlas con métodos estándar como la integración de Euler, Runge-Kutta [6] o Verlet [5], basada en la ecuación diferencial de segundo orden, y que ha sido la alternativa escogida por sus buenos resultados en rendimiento y su sincronización en todo momento entre velocidad y desplazamiento.

$$x = x + (x - x') + a * \Delta t^2 \quad (3)$$

Teniendo la posición de cada punto de control en cada instante, basta actualizar dichas posiciones y en tiempo real, merced al efecto del FFD, podrá verse que los vértices afectados aparecen deformados animándose de forma “elástica”.

5. Conclusiones

Sobre un modelo de humanoide dotado de un esqueleto y cinemática inversa mediante una jerarquía articulada se ha generado una serie de volúmenes de Bézier que constituyen deformadores sobre el objeto. Para evitar inconsistencias visuales, se ha creado un sistema jerárquico de deformaciones, similar al sistema óseo, de tal forma que al mover un elemento del mismo se vean afectados todos los asociados al mismo. Como patrón de deformación se ha utilizado un oscilador armónico amortiguado. Esta

estructura da lugar a una deformación intuitivamente coherente del humanoide. Este proceso de deformación se realiza de forma transparente al usuario y en tiempo real.

El caso de estudio se ha probado en un PC Intel Core 2 Quad Q9450 a 2.66 Ghz, 4Gb de RAM y gráfica GeForce 8800GT de 512Mb, obteniéndose así un “frame rate” medio superior a los 250 fps, para un modelo 3D de 2552 vértices y 4895 caras, utilizándose 3 deformaciones de aproximadamente 1500 vértices cada una.

El trabajo futuro pasa por la aceleración y cálculo de las deformaciones de Bézier a través de la tarjeta gráfica empleando las matrices de deformación, de manera similar a como se hace con las deformaciones óseas del esqueleto del modelo. De este trabajo se hace una aproximación en [1].

Referencias

- [1] Chua, C., Ulrich, N. “Hardware-Accelerated Free-Form Deformation” SIGGRAPH, 2000
- [2] Coquillart, Sabine. “Extended free-form deformation: a sculpturing tool for 3D geometric modeling” ACM SIGGRAPH Computer Graphics, v.24 n.4, p 187-196, Aug.1990 [doi>10.1145/97880.97900]
- [3] Fêdor, Martin. “Application of inverse kinematics for skeleton manipulation in real-time”, Proceedings of the 19th spring conference on Computer graphics, April 24-26, 2003, Budmerice, Slovakia [doi>10.1145/984952.984986]
- [4] Ferrier, Alex. “Real-Time Soft-Object Animation using Free-Form Deformation”
- [5] Jakobsen, Thomas. “Advanced Character Physics”. Game Developers Conference, 2001
- [6] Mosegaard, J.: “Realtime cardiac surgery simulation”, PhD Dissertation, Aarhus University Hospital, Denmark, 2004.
- [7] Thomas W. Sederberg, Scott R. Parry. “Free-Form Deformation of Solid Geometrics Models” ACM SIGGRAPH Computer Graphics, v.20 n.4, p 151-160, Aug. 1986 [doi>10.1145/15886.15903]
- [8] Wang, L., C., Chen, C. “A Combined Optimization Method for Solving the Inverse Kinematics Problem of Mechanical Manipulators” IEEE Trans. On Robotics and Applications, vol. 7, no. 4, pp 489-499, 1991