

Análisis de Video en Biomecánica

Andréi Guchin ^{*}, Gonzalo Pereira,
Guillermo Ottado, Mauricio Ramos, and Juan Cardelino.

Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería,
Universidad de la República, Uruguay.
`proyecto.iie.biomecanica@google.com`
`http://www.fing.edu.uy`

^{*} Esto es por si se quiere agregar algo referido a alguno.

Resumen En este artículo se propone un sistema óptico de captura de movimiento basado en marcadores para facilitar la tarea en el análisis biomecánico del movimiento de las personas.

Dicho sistema se compone de bloques independientes, dando una solución general que posibilita modificar o sustituir sus componentes fácilmente. Se muestra como generar un laboratorio virtual a partir del cual obtener una base de datos con secuencias de videos sintéticas y se exploran las características que debe tener un laboratorio de captura óptico basado en marcadores para facilitar el procesamiento.

Se reúne un conjunto de métricas para medir la performance de cada bloque y del sistema en su totalidad.

Las pruebas realizadas sobre el software implementado reflejaron que el mismo tiene una precisión del orden del centímetro sobre secuencias obtenidas en ambientes controlados. Estos resultados son buenos teniendo en cuenta que los algoritmos utilizados en cada bloque son de complejidad baja y se pueden optimizar.

Keywords: Biomecánica, calibración, detección de marcadores, reconstrucción, seguimiento, laboratorio virtual.

1. Introducción

Especialistas de distintos ámbitos académicos o profesionales se encuentran habitualmente en la necesidad de realizar estudios del movimiento del cuerpo humano. Esta tarea implica registrar la posición de miembros o articulaciones en el espacio y su correspondiente evolución en el tiempo.

Algunos ejemplos correspondientes a distintas áreas que ilustran estas necesidades son a *nivel asistencial* en el área de *fisioterapia*, *investigación académica en biomecánica*, *medidas de performance* en el deporte de alto nivel y *Animación 3D*, entre otras.

En este contexto, el análisis de video es una herramienta fundamental para la recolección y estudio de datos. El seguimiento de puntos de referencia se utiliza para el cálculo de posición y otras variables asociadas como son la velocidad, la aceleración y por ende desplazamientos. Trabajar con video permite además estudiar secuencialmente situaciones estáticas en el tiempo. El seguimiento de dichos puntos resultaría tedioso si se hiciera manualmente por lo que resulta necesario contar con una herramienta que realice esta tarea automáticamente.

Los ejemplos mencionados anteriormente definen distintos casos de uso con características disímiles, de manera que la búsqueda de una solución única que abarque las necesidades particulares de todos ellos resulta compleja. Por ejemplo, en el ámbito deportivo la velocidad del movimiento es una variable importante a tener en cuenta para desarrollar una solución, de esta variable depende la elección tanto del sistema de adquisición como de los algoritmos más eficaces para el registro del movimiento. De igual manera definir la portabilidad del sistema depende de si la actividad a relevar es en condiciones de laboratorio controladas o al aire libre, debido a la protección y transporte de equipos o las variaciones en las condiciones de iluminación, ruido, etc..

Al día de hoy, las soluciones de software disponibles que podrían asistir al especialista en su tarea, son mayormente comerciales. Las pocas alternativas de código abierto, carecen de las características necesarias para el especialista o están enfocadas hacia otras áreas de aplicación. Contar con este tipo de herramientas es fundamental para las necesidades de los equipos de profesionales, cuya alternativa son productos comerciales de alto costo.

QUIZAS ACÁ REDONDEAR CON LO QUE SE PRETENDE EN EL PAPER, O SEA LOS OBJETIVOS PROPUESTOS Y LUEGO LOS REQUERIMIENTOS QUE SE TIENEN.

2. Base de datos

Aquí tengo que meter por lo menos la descripción de las secuencias que utilizamos y de donde se sacaron

3. Implementación

Acá por lo menos el diagrama de bloques general

6 lista abreviada de autores

4. Calibración

5. Detección de marcadores

6. Reconstrucción

A la salida del bloque de detección de marcadores se tiene, para cada cámara y para cada cuadro de una secuencia adquirida, un conjunto de coordenadas en dos dimensiones (x, y) que ubican la posición en la imagen de aquellos marcadores que fueron detectados. El proceso de reconstrucción consiste en obtener las coordenadas en tres dimensiones de la posición de los marcadores en el espacio, a partir de la posición de los marcadores en al menos dos retinas.

El proceso de reconstrucción que se presenta fue inspirado en el trabajo de Herda [1] y consiste en tres pasos fundamentales:

1. Encontrar la correspondencia entre puntos en retinas diferentes.
2. Seleccionar la mejor correspondencia.
3. Reconstruir y verificar en el resto de las retinas.

6.1. Algoritmo

El algoritmo implementado recibe como entrada los puntos 2D de los marcadores detectados y devuelve como salida los puntos 3D reconstruidos. El primer paso consiste en establecer una asociación entre ciertos puntos 2D de distintas cámaras. Luego, se pasa a un conjunto de bloques que se ejecutan de manera iterativa hasta que no queden marcadores para reconstruir. En dicho bloque se busca la mejor asociación entre puntos bajo determinado criterio, luego se reconstruye un punto 3D y se realiza un proceso de validación de dicha reconstrucción. En la iteración siguiente se actualizan las asociaciones que habían sido establecidas previamente. Cuando no hay más marcadores para reconstruir se detiene el proceso iterativo y se devuelven aquellos marcadores que fueron reconstruidos en cada iteración. En la Figura 1 se presenta un diagrama del algoritmo.

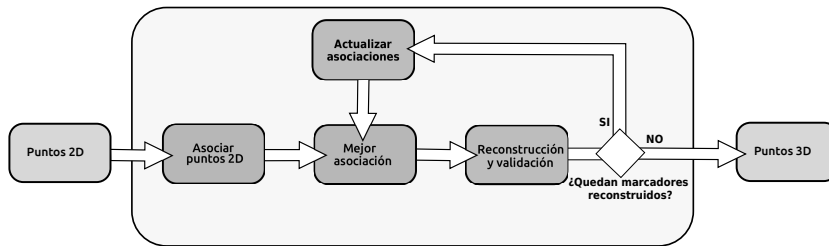


Figura 1. Diagrama de bloques del algoritmo de reconstrucción.

Asociar puntos 2D Este bloque recibe como entrada las coordenadas de los puntos detectados en cada una de las cámaras, parámetros de las mismas tales

como sus matrices de proyección y devuelve para cada punto una lista ordenada por relevancia, de las asociaciones existentes con puntos en otras cámaras. Basándose en lo explicado anteriormente para un par de cámaras el proceso se puede ejemplificar en la Figura 2 y los pasos a seguir son los siguientes:

Figura 2. Asociación de puntos 2D en dos cámaras.

- Seleccionar dos cámaras y considerar un punto en una de ellas, por ejemplo el punto x_{11} de la cámara 1.
- Proyectar la recta epipolar l_{11} correspondiente al punto x_{11} sobre la cámara 2.
- Tomar las distancias de los puntos detectados en la cámara 2 a la recta l_{11} .
- Generar una lista de posibles asociaciones ordenada por distancia.

Se asume que los puntos de la cámara 2 que tengan mayor posibilidad de corresponder con el punto x_{11} , son aquellos que al ser evaluados por la ecuación obtienen valores próximos a cero. Repitiendo el procedimiento de manera inversa, esto es, de la cámara 2 a la cámara 1, se obtiene igualmente para cada punto de la cámara 2 los puntos de la cámara 1 ordenados según su proximidad a la recta epipolar correspondiente. A continuación se toman otros pares de cámaras y se vuelve a repetir el proceso.

Es importante resaltar que para la elección de los pares de cámaras se han considerado dos casos. El primero de ellos evalúa cada cámara respecto a todas las restantes y el segundo considera la disposición de las cámaras en el espacio y empareja las cámaras adyacentes de manera consecutiva.

6.2. Mejor asociación

A partir de la lista con asociaciones entre puntos de dos vistas generada anteriormente, es necesario elegir aquella que posea mayor probabilidad de conformar la pareja de imágenes correspondiente a la proyección de un marcador 3D sobre dichas vistas.

Recordando que todas las asociaciones de puntos entre pares de cámaras se encuentran ordenadas por distancia, se toma aquella asociación que posea la menor distancia y contenga puntos válidos, descartando las restantes. Un punto se considera válido si en iteraciones anteriores no se ha podido asociar a ningún punto 3D reconstruido (ver Sección 3). De esta forma cada punto de una cámara es asociado, si existen puntos válidos, con un punto en otra de las cámaras.

Para evaluar de todas las relaciones entre cámaras, cuál de los pares de puntos asociados disponibles es el par que posee mayor posibilidad de corresponder a las proyecciones de un punto 3D, se proyectan los rayos de proyección de todos los pares de puntos disponibles y se toma el par que genere rayos de proyección con la menor distancia entre sí.

6.3. Reconstrucción 3D y validación

Luego de encontrar la mejor asociación de puntos se procede a reconstruir y validar la misma. Si se encuentra al menos un punto en otra cámara que valide la reconstrucción se asume que ésta es correcta, se retira a la pareja que genera la reconstrucción así como también a los puntos que lograron validarla y se itera nuevamente repitiendo el proceso con la siguiente mejor pareja asociada entre dos cámaras.

Figura 3. Reconstrucción entre cámaras 1, 2 y validación con cámara 3.

La información que contiene un punto en una retina se mapea en el espacio 3D sobre el rayo de proyección que contiene a dicho punto y al centro de la cámara correspondiente. Supongamos que se tienen los rayos de proyección en el espacio 3D de todos los puntos contenidos en las retinas y que x_1 es un punto en la cámara 1 de centro O_1 y x_2 es un punto en la cámara 2 de centro O_2 se encuentran asociados y reconstruyen al punto X_{12} . El algoritmo implementado asume que un punto en una cámara, valida a X_{12} si junto a x_1 reconstruye un punto 3D que se encuentra dentro de la esfera $B(X_{12}, \delta)$ de centro X_{12} y radio δ , donde δ es un cierto valor umbral. Como se muestra en la Figura 3, el punto x_3 de la cámara 3 valida la reconstrucción, no así el punto \tilde{x}_3 .

Idealmente X_{12} se genera al interceptar los rayos de proyección de los puntos x_1 y x_2 , pero debido a incertidumbres en la detección de marcadores o la calibración, comúnmente los rayos se van a cruzar. La reconstrucción, se estima como el punto del espacio de menor distancia a ambos rayos, por lo que X_{12} se encuentra en el punto medio del segmento perpendicular a ambos rayos.

6.4. Actualizar asociaciones

Del bloque anterior se tiene, un punto X reconstruido y sus correspondientes proyecciones en cada una de las cámaras. Dichas proyecciones no deben ser consideradas nuevamente, por tanto estos puntos 2D que reconstruyen X , no se consideran como puntos válidos en las siguientes iteraciones.

Finalmente el proceso iterativo se detiene cuando no hay más marcadores para reconstruir, lo cual implica que se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- el número de marcadores reconstruidos es igual al número de marcadores que tiene colocada la persona, o igual al número máximo de marcadores reconstruidos que se haya indicado.
- No existen puntos 2D válidos tal que pueda establecerse una asociación entre puntos de distintas vistas.

7. Seguimiento

8. Performance

9. Conclusiones

The conclusion goes here.

Referencias

1. Herda, L., Fua, P., Plänkers, R., Boulic, R., Thalmann, D.: Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture. *Human movement science* 20(3), 313–341 (2001)