

Un método liviano para el cálculo de rotación de una pelota en tiempo real

Federico Cristina, Sebastián H. Dapoto, Claudia Russo
{fcristina, sdapoto, crusso} @lidi.info.unlp.edu.ar

Instituto de Investigación en Informática LIDI
Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata.
La Plata, Buenos Aires, Argentina.

CN Sports Argentina Especialización Futbolística S.A.
Plata, Buenos Aires, Argentina.

*IV Workshop de Computación Gráfica, Imágenes y Visualización
XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación CACIC 2006*

Resumen

El presente trabajo propone un nuevo método para el cálculo de la rotación de una pelota en situaciones de entrenamiento deportivo, cuando la misma se encuentra en la zona cercana al arco. El método propuesto reduce considerablemente los requerimientos de hardware asociados con la captura, así como la complejidad computacional necesaria para obtener los resultados. El objetivo del sistema es mejorar la técnica del jugador y la metodología de entrenamiento, y se encuentra enmarcado dentro de la línea de investigación del Instituto en el área de tratamiento de señales e imágenes. Se expondrán resultados experimentales utilizando imágenes generadas digitalmente.

Palabras claves: Procesamiento de imágenes, cálculo de velocidad de rotación, pelota, tiempo real

Abstract

The present paper poses a new method for computing the rotation of a ball in sport training situations, when the ball is approaching the goal line. The proposed method significantly reduces the hardware requirements associated to the capture, as well as the computational complexity necessary to obtain the results. The system's objective is to improve the player's technique and training methodology, and it is treated within the scope of the Institute's research line on signal and image processing areas. Experimental results will be presented using digitally generated images.

Keywords: Image processing, spin speed calculation, ball, real time

1 INTRODUCCIÓN

En toda disciplina deportiva, las sesiones de entrenamiento son necesarias para perfeccionar las técnicas de los jugadores. Actualmente, la tecnología permite obtener información adicional más allá de los datos que pueden ser recavados mediante observación visual. En el caso del entrenamiento futbolístico, gracias a la filmación y reproducción en cámara lenta de los tiros libres, jugador y entrenador pueden observar y debatir los mismos logrando así un aprendizaje en el tiempo.

Pero más y mejor información - y lo que es más importante, información precisa - puede obtenerse mediante la captura digital de los tiros libres. Realizando ciertas modificaciones al entorno y a la pelota, es posible calcular la velocidad de rotación que la misma desarrolla en cada tiro; y determinar además la dirección preponderante sobre la que ésta realiza el movimiento.

Esta información es de vital importancia, ya que el movimiento de rotación de la pelota provoca que se desvíe la trayectoria de la misma hacia un lado u otro mientras se encuentra en el aire debido a un fenómeno conocido como fuerza de Magnus. Esta fuerza es muy pronunciada al final del vuelo de la pelota, cuando el jugador ha aplicado mucho efecto de rotación en el tiro. [1, 2, 3, 4]

Se han propuesto otros métodos para el cálculo de velocidad de rotación [5, 6, 7, 8]. En general, aunque los mismos presentan buenos resultados, se basan en complejos etiquetados de la pelota, en hardware altamente especializado o en algoritmos de ejecución costosa. El método propuesto simplifica los requerimientos de hardware y las técnicas de etiquetado de la pelota, tal como se expondrá en el presente trabajo.

2 ANALISIS PRELIMINAR

Al ejecutar un tiro libre, las direcciones de giro rotacional que puede adoptar la pelota son sin ninguna duda casi ilimitadas. Esto significa que la misma es capaz de rotar en un sin fin de direcciones posibles. Cabe entonces preguntarse, se pueden clasificar las variantes que presenta la rotación de la pelota?.

Inicialmente, tomemos como referencia tres ejes principales sobre los que la pelota puede realizar el movimiento de rotación. Como se muestra en la figura 1, tendríamos tres posibilidades: que la pelota gire sobre el eje X, el eje Y o el eje Z. Naturalmente, el movimiento absoluto sobre un eje anula la posibilidad de movimiento de los restantes.

Pero claro está, el número de ejes que atraviesa el centro de la pelota es infinito. De acuerdo a la posición en que éstos se tomen, podría decirse que la misma adopta un movimiento absoluto sobre un eje o una combinación de fuerzas sobre más de uno, con lo cual no es posible lograr una clasificación útil.

Esta problemática se debe a que el análisis realizado se ha basado en tomar como punto de interés el centro de masa de la pelota. Es necesario entonces corregir la pregunta anteriormente planteada: se pueden generalizar o clasificar las variantes que presenta la rotación de la pelota de acuerdo a un punto de vista en particular?.

Para los fines de la aplicación, el punto de vista de interés será la cámara que capture la pelota en movimiento. Bajo este contexto, existen tres casos principales, tal como se muestra en la figura 2. El primero de estos es el que contempla las dos posibilidades de rotación aparente lateral. La segunda alternativa son los casos en que la pelota realiza un movimiento aparente de rotación frontal, en cualquiera de sus direcciones (en la figura sólo se muestran cuatro). La tercer posibilidad contempla la opción en la cual la pelota no presenta movimiento alguno de rotación.

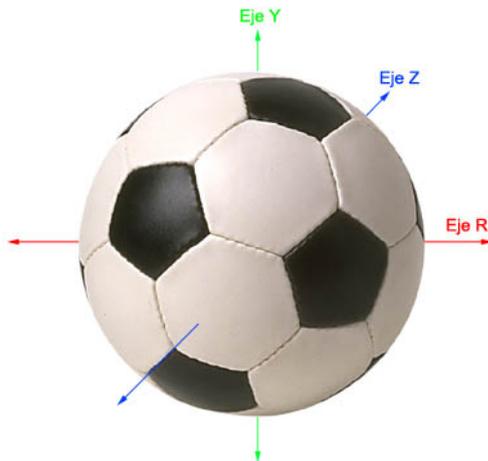


Figura 1 –Ejes de rotación basados en el centro de masa de la pelota

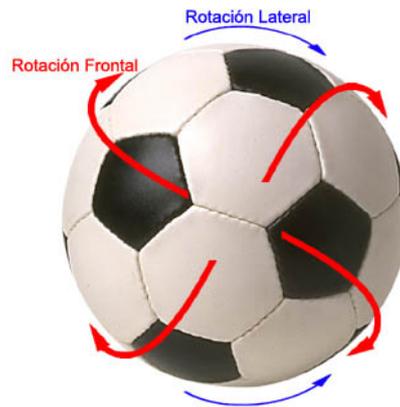


Figura 2 – Casos de rotación según movimiento aparente respecto del punto de vista de interés

Basándose en esta generalización de casos, se puede desarrollar una solución que explote esta característica con el fin de determinar la velocidad en que la pelota realiza el movimiento de rotación, ya sea rotación lateral aparente, frontal aparente o una combinación de ambas fuerzas.

3 MARCACIÓN DE LA PELOTA

El principal problema a resolver es el de determinar una marcación óptima sobre la superficie de la pelota con el fin de poder conocer en todo momento el movimiento que ésta realiza. El análisis realizado presenta las bases bajo las cuales se proyectó la forma de marcado de la pelota. Se buscó maximizar la sencillez de diseño del mismo.

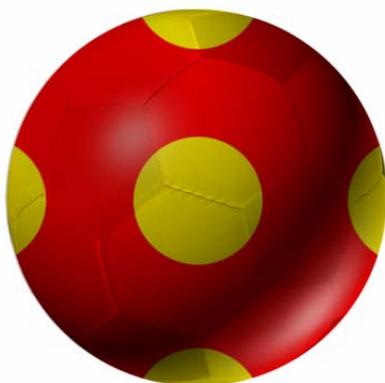


Figura 3 – Etiquetado de la pelota

La configuración de marcas puede observarse en la figura 3. La misma presenta seis marcaciones sobre la superficie de la pelota, dos por eje axial. Los colores que se muestran, tanto de la pelota como de las marcas están basados en un trabajo anterior [9] que requería contemplar ciertas características especiales. Para este caso los mismos podrían no necesariamente poseer dicha configuración de color.

Como se detalla posteriormente, el algoritmo desarrollado realiza el seguimiento de las marcas a lo largo de la secuencia de video

con el fin de determinar la velocidad y dirección de rotación de la pelota. La detección de las marcas en cada uno de los cuadros que componen la captura se realiza mediante una técnica de filtrado.

4 FILTRADO

Existe el problema de identificar individualmente cada una de las marcas de la pelota. Esto es, dada una imagen y una marca, determinar la nueva ubicación de dicha marca en la imagen anterior o siguiente. El filtrado de las marcas amarillas es el primer paso y se realizó mediante una umbralización por niveles de intensidad lumínica en los canales RGB.

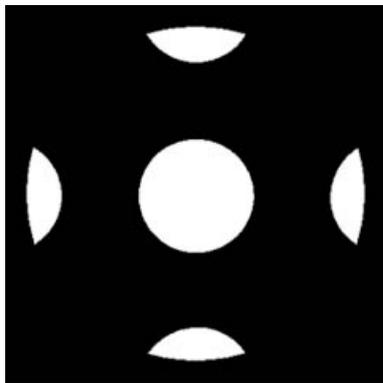


Figura 4 – Filtrado de la pelota

Una vez especificados los niveles de intensidad adecuados para cada canal, se procesa la imagen realizando el filtrado con dichos umbrales.

Con el fin de lograr mayor robustez, el filtrado se realiza de forma que se ignoren los píxeles aislados que no pertenezcan a las marcas que componen la pelota (lo cual es necesario contemplar en condiciones adversas, como por ejemplo, baja luminosidad).

Para llevar a cabo esto se desechan píxeles lejanos a la posición de la pelota y píxeles que no estén ligados a la misma, es decir, se tienen en cuenta los 4-vecinos y 8-

vecinos para determinar el filtrado. De esta forma el método determina sin errores cada una de las marcas de la pelota. La figura 4 muestra la pelota una vez filtrada.

El objetivo del seguimiento de las marcas es el de determinar la posición de cada marca en las imágenes anterior y siguiente a una que será tomada como referencial.

5 SEGUIMIENTO DE LAS MARCAS

Como se ha explicado anteriormente, la pelota puede adoptar una rotación lateral aparente o frontal aparente. Si incorporamos además el modelo de marcación expuesto; se puede llegar a la conclusión de que la rotación de la pelota de la figura 3 puede manifestarse de las siguientes formas:

1. La pelota realiza una rotación lateral aparente, con lo cual (a) puede llegar a presentarse una marca central aparentemente inmóvil, (b) la marca central atraviesa parcialmente el centro de la pelota, o (c) puede no presentarse una marca en el centro de la misma.
2. La pelota realiza una rotación frontal aparente, con lo cual es posible que (a) una marca central atravesase el centro de la pelota, o que (b) ninguna marca central atravesase el centro de la pelota.
3. La pelota no realiza rotación aparente alguna, esto es: el tiro ha sido efectuado de manera tal que la pelota no ha sufrido ninguna fuerza de rotación.

Por lo tanto, para obtener un valor preciso será necesario realizar el seguimiento de la marca central y laterales, y, según sea el caso basarse en una o ambas para realizar el cálculo de rotación. La figura 5 presenta los esquemas que resumen las alternativas expuestas.

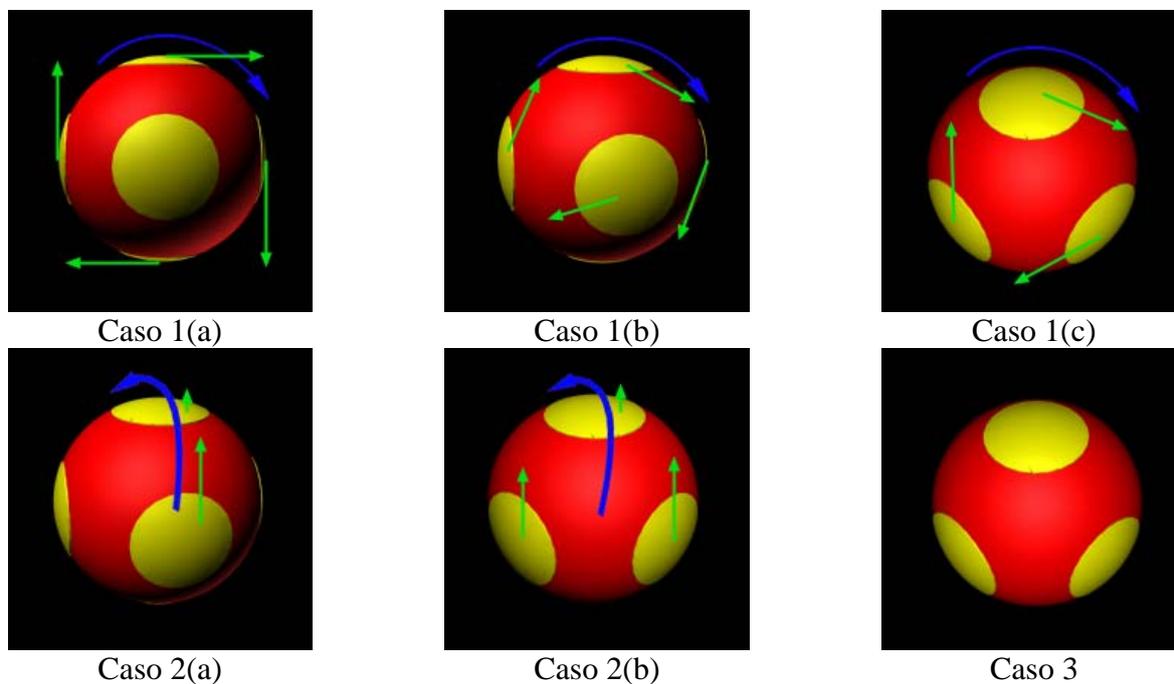


Figura 5 – Formas de manifestación de rotación de la pelota

A continuación se explicará en detalle el método desarrollado, el cual se basa en el análisis descrito hasta el momento.

6 MODELO COMPUTACIONAL

El seguimiento de las marcas para el posterior cálculo de rotación debe llevarse a cabo de manera tal que las marcas de interés no se pierdan a lo largo de los cuadros seleccionados como óptimos para la medición.

6.1 Marca central definida

La forma de determinar cual es el cuadro óptimo se basa en buscar la marca amarilla central más definida dentro la secuencia de video completa. Para llevar a cabo esta tarea, para cada cuadro, se determina el centro de la pelota y se obtiene el nivel de intensidad amarillo dentro de una ventana de búsqueda V de tamaño acorde al diámetro de la pelota en píxeles. La figura 6 muestra este proceso.

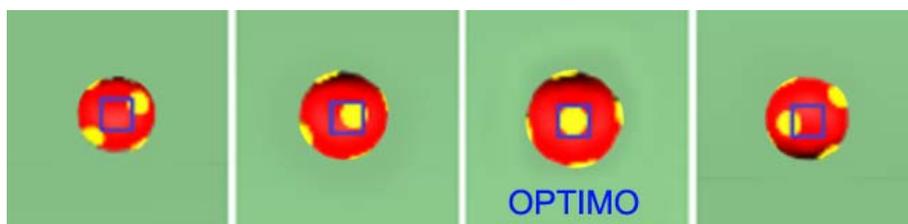


Figura 6. Selección del cuadro óptimo.

Sean $i_1..i_n$ el conjunto de cuadros que componen la secuencia de video de captura de un tiro, V la ventana de búsqueda dentro de la zona central de la pelota, U el valor de luminosidad amarillo que debe superar la búsqueda sobre la ventana V .

Entonces, se debe encontrar el cuadro i_c tal que,

$$i_c = \max \{ V(i_k) > U, k = 1..n \}$$

Como se verá posteriormente, el algoritmo desarrollado contempla los casos en el que se presenten las alternativas 1(c) o 2(b) de la figura 5, en las que puede ocurrir que i_c no llegue a existir.



Figura 7 – Etiquetado de la pelota

Una vez encontrado i_c , se utilizará la información de los cuadros i_{c-1} , i_c e i_{c+1} para el cálculo de rotación. Un algoritmo de etiquetado será aplicado a cada una de las marcas de los cuadros seleccionados. El etiquetado de marcas consiste en asignarle un identificador (etiqueta) a cada una de las marcas obtenidas luego del filtrado. Esta tarea se realiza mediante un procesamiento de rasterización de la imagen y el resultado se puede observar en la figura 7.

Dado que la pelota se encuentra en movimiento (esto es inclusive notorio en la corta secuencia de tres cuadros), las etiquetas asignadas a las marcas en cada cuadro pueden no llegar a ser las mismas. La forma de determinar la posición de cada etiqueta a lo largo de la secuencia de video se detalla a continuación.

Sean i_{c-1} , i_c e i_{c+1} los cuadros seleccionados, se tendrán un conjunto de marcas por cuadro. Por lo tanto, para el cuadro central, existirán $t_{i_c, t=1..4}$ etiquetas t , destacándose además la etiqueta central c , por la cual se obtuvo i_c . Esto es, sean

$t_{i_{c-1}, t=1..5}$ las cinco (como máximo) marcas del cuadro anterior a i_c

$t_{i_c, t=1..4}$ las cuatro (como máximo) marcas del cuadro i_c , más la marca central c_{i_c}

$t_{i_{c+1}, t=1..5}$ las cinco (como máximo) marcas del cuadro posterior a i_c

Se requiere entonces determinar la posición de la etiqueta central c_{i_c} dentro de las etiquetas de los cuadros anterior y posterior al central. Esto significa que se deberán encontrar las etiquetas distinguidas $c_{i_{c-1}}$ y $c_{i_{c+1}}$ dentro de $t_{i_{c-1}, t=1..5}$ y $t_{i_{c+1}, t=1..5}$.

Para esto se realiza una búsqueda cíclica en apertura de una etiqueta desde el punto central de la etiqueta c_{i_c} en los cuadros i_{c-1} y i_{c+1} . Dadas las características de determinación de i_c , la primera etiqueta encontrada será $c_{i_{c-1}}$ y $c_{i_{c+1}}$ respectivamente. La figura 8 ilustra esta situación.

Conociendo la distancia que las marcas han realizado entre un cuadro y el siguiente de la secuencia de video, la velocidad de captura de la misma (FPS) y el tamaño en milímetros que representa un píxel, se puede determinar así la velocidad de rotación de la pelota. El último parámetro se obtiene

conociendo el diámetro de la pelota en milímetros y determinando cuántos píxeles componen la misma en la zona ecuatorial.

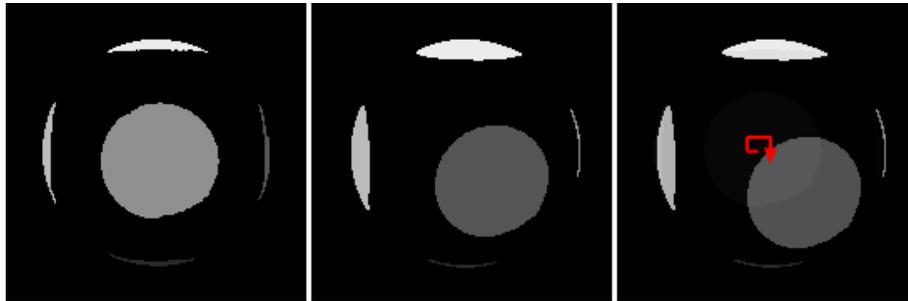


Figura 8. (a) Cuadro i_c . (b) Cuadro i_{c+1} .
(c) Búsqueda de etiqueta $c_{i_{c+1}}$ en i_{c+1} respecto del centro de c_{i_c} .

Podríamos concluir que el algoritmo presentado hasta el momento es totalmente válido cuando la pelota adopta rotación frontal aparente completa, tal es el caso 2(a) de la figura 5. Pero si la pelota presenta una combinación de rotación frontal aparente y lateral aparente (caso 1(b)), los resultados obtenidos no serán completamente correctos, ya que se está despreciando una fuerza de rotación. Mas aún, en el caso de que se presente una rotación lateral aparente completa (caso 1(a)), el cálculo de rotación sería totalmente incorrecto, ya que la posición de c_{i_c} será igual a la de $c_{i_{c-1}}$ y $c_{i_{c+1}}$.

Es por esto que las etiquetas $l_{i_{c-1}} (t = 1..5)$, $l_{i_c} (t = 1..4)$ y $l_{i_{c+1}} (t = 1..5)$ deben ser contempladas en el modelo computacional desarrollado. Realizando un procedimiento análogo al explicado, y basándose en las marcas perimetrales se obtiene entonces la velocidad de rotación lateral. Ponderando ambas fuerzas se determina así la velocidad de rotación total.

6.2 Marca central no definida

Como se ha mencionado anteriormente, puede ocurrir el caso en el que no existe i_c , tal como se expone en los casos 1(c) y 2(b), con lo cual o la pelota no gira o ésta lo hace en sentido completamente normal al sentido de visión de la cámara sin que ninguna marca atraviese la zona central de la pelota.

Para estos casos se realiza el cálculo basándose únicamente en las marcas perimetrales. Al no existir i_c , los cuadros seleccionados son los primeros de la secuencia de video, en donde la pelota posee la mayor relación centímetros/píxel; con lo que se gana así en precisión.

7 RECURSOS UTILIZADOS

7.1 Software

Para facilitar las pruebas iniciales; se realizó una maqueta virtual del predio donde serán realizadas las pruebas de entrenamiento. Gracias a este modelo se han podido determinar los requerimientos técnicos que debe cumplir la cámara y su óptima posición de captura.

Se estableció luego el lenguaje óptimo para realizar la aplicación. Se seleccionó como adecuada la librería OpenCV (“Open Computer Vision”: librería Open Source de visión por computador) [10] junto al entorno de desarrollo C++ Builder.

7.2 Hardware

7.2.1 Cámara

Luego de un minucioso análisis se determinó las características con las que deberá contar la cámara a ser utilizada:

- Resolución de 640x480 píxeles
- 100 Cuadros Por Segundo (FPS)
- 1/1000 de Velocidad de Obturación

Utilizando imágenes de 640x480 píxeles se puede llegar a lograr una precisión relativamente alta; teniendo en cuenta la distancia entre la cámara y la pelota.

Capturando 100 cuadros por segundo, la rotación de la pelota entre cuadro y cuadro no será mayor a 1/10 de revolución, ya que estudios [1] han demostrado que la pelota despliega una velocidad de rotación no mayor a 10 RPS. Se está asegurando así que no se perderán las marcas seleccionadas para el cálculo de rotación a lo largo de los frames que componen la secuencia.

Mediante una velocidad de obturación de 1/1000 se evitará el problema de capturar imágenes en las que la pelota presente efecto de borronado (blurring effect). Una captación de 1/1000 logra que el desplazamiento máximo de las marcas en dicho intervalo no sea mayor a 7mm.

7.2.2 Sistema de Captura

El sistema de captura digital debe permitir almacenar grandes cantidades de información por segundo. La captura sin compresión de cada secuencia requerirá una velocidad de transferencia de aproximadamente 90 Megabytes por segundo. Es por esto que se determinó utilizar cámaras con interfaz Firewire 1394a.

8 RESULTADOS OBTENIDOS

Primeramente se llevaron a cabo una serie de pruebas de laboratorio utilizando imágenes generadas a partir del modelo virtual.

Estas pruebas arrojaron como resultado que la precisión del cálculo de rotación es cercana a los +/- 0.3 RPS (revoluciones por segundo).

Actualmente están por ejecutarse las pruebas de campo correspondientes. Se espera que la utilización del sistema por parte de los jugadores lleve a un incremento en la precisión de los tiros libres que los mismos ejecutan, ya que la información que el sistema les aporta es valiosa para obtener un mejor control del momento en el que la pelota comienza a descender sobre la curva generada por la trayectoria del tiro.

9 LÍNEAS ACTUALES DE INVESTIGACIÓN

Se piensa desarrollar un entorno de procesamiento independiente de la aplicación en la que se encuentra actualmente embebido el módulo de rotación. Dado que ya no se contará con las restricciones pertenecientes a dicha aplicación, los colores de la pelota y el etiquetado podrán variar de acuerdo a las necesidades de cada caso.

Se generalizará la solución no dependiendo de una aplicación específica, incrementando la robustez y precisión de los métodos desarrollados.

10 CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo la implementación de un método de cálculo de rotación en tiempo real, que reduce significativamente los requerimientos de dispositivos de hardware asociados a la captura.

Así mismo, se redujo la complejidad de los cálculos necesarios para obtener los resultados. Para lograr esto, se diseñó un etiquetado sencillo que permite conocer en todo momento el movimiento que realiza la pelota, dividiendo las situaciones posibles de rotación en casos simples de análisis de movimiento.

Se desarrolló un módulo que permite visualizar el seguimiento de la rotación de la pelota y los resultados numéricos logrados. De esta forma, el análisis de dichos resultados permiten mejorar la técnica de los jugadores y la metodología de entrenamiento de los mismos.

Para realizar el desarrollo, se han investigado, analizado y utilizado técnicas, herramientas y métodos de procesamiento de imágenes y visión por computadora.

11 REFERENCIAS

[1] PR Newswire. News Release Tuesday 9 July 2002, 19:02 GMT.

<http://www.prnewswire.co.uk/cgi/news/release?id=87846>

[2] SportsScience and Engineering in Education. The Flight of a Ball.

http://www.cookeassociates.com/seesite/BALLS/balls_students_background.htm

[3] Design News. Engineers decipher soccer spin. August 5, 2002.

<http://www.designnews.com/article/CA234392.html>

[4] Fluent. Engineers Discover Secrets of Soccer Free Kicks. May 20, 2002.

<http://www.fluent.com/news/pr/pr43.htm>

[5] An image recognition system for the measurement of soccer ball spin characteristics.

Institute of physics publishing. Meas. Sci. Technol. 15 (2004) 2239–2247. doi:10.1088/0957-0233/15/11/009. <http://www.iop.org/EJ/abstract/0957-0233/15/11/009/>

[6] Measuring Ball Spin by Image Registration. FCV2004. 10th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp.269-274 (2004)

[7] Measuring the Magnus Force Generated by a Spinning Tennis Ball. California State Science Fair. Project Number J0119

[8] Quinsipn. Ball strike and flight analysis. <http://www.quinspin.com>

[9] Mobile Path and Spin 3D Tracking and Reconstruction. Federico Cristina, Sebastián H. Dapoto, Claudia Russo, Armando Degiusti, María José Abasolo. AMDO 2006, LNCS 4069, pp. 120 – 131.

[10] OpenCV - Open Source Computer Vision Library Community.
<http://groups.yahoo.com/group/OpenCV>