

# Detección de infracciones en el fútbol

A. Nassiff, M. Rolé, G. Tessi  
**Supervisor:** Enrique Marcelo Albornoz

**Resumen**— Hay deportes que generan mucha polémica a la hora de determinar si se cometió una infracción o no, el fútbol es quizás el más famoso de ellos. A pesar de tener sus reglas de juego bien definidas, cuando ocurre una falta sobre cualquiera de ellas, el árbitro del juego o los jueces de línea pueden decidir si en verdad existió dicha falta y detener el juego o decretar que el mismo continúe. El procesamiento digital de imágenes ofrece diversas herramientas que permiten manipular las imágenes del juego obtenidas por cámaras de televisión, y así poder utilizarlas para determinar si se cometió una infracción mediante un criterio objetivo. Este artículo examina diversas combinaciones de técnicas de procesamiento de imágenes a fin de poder determinar la existencia o no de faltas de juego, a partir de unos pocos cuadros del momento en cuestión.

**Palabras clave**— fútbol, infracciones, segmentación, bordes

## I. INTRODUCCIÓN

El fútbol es un deporte de contacto, por lo que siempre va a existir alguna falta o infracción durante el juego por parte de los jugadores. Cuando la falta es sutil o pasa desapercibida por algún juez de línea o el árbitro, es éste quien tiene la decisión de parar el juego para ejecutar un tiro libre o continuar con el partido.

El presente trabajo se enfoca en desarrollar un conjunto de metodologías para la detección de faltas en el juego, las cuales dependen de que ocurran en diferentes áreas del campo de juego que se ilustran en la figura 1. Debido a que existen diferentes tipos de infracciones, se contemplarán solo los casos de distancia a la barrera en tiro libre y fuera de juego u *offside*.

Cuando ocurre una falta fuera del área grande, el árbitro dictamina la ejecución de un tiro libre, el cual es una forma de reanudar el juego tras la falta cometida. La pelota deberá permanecer inmóvil y podrá existir o no una barrera de jugadores, a elección del arquero. En caso de que existiera, la misma debe posicionarse a un radio de 9,15 metros con respecto a la ubicación de la pelota. Si los jugadores no respetan la distancia mencionada, el árbitro dictará que se vuelva a ejecutar el tiro.

El fuera de juego u *offside*, según la reglamentación actual, establece que un jugador se encuentra en posición adelantada si se encuentra sin el control de la pelota y más allá de la línea definida por el penúltimo adversario, lo cual quiere decir que dicho jugador se encuentra más adelantado que todos los jugadores oponentes menos uno (que suele ser el arquero oponente). Sumado a la complejidad de ésta regla, también juega la subjetividad del árbitro al momento de determinar la existencia o no de la infracción. En el presente trabajo solo se analizará el caso más trivial.

La metodología base consiste en identificar las áreas de interés para poder aplicar metodologías específicas para cada caso considerado [1] [2] [3]. La misma se basa en producir una máscara binaria a partir de la segmentación color del campo de juego, lo que permite eliminar elementos innecesarios como tribunas y carteles publicitarios [4]. A continuación se procede a detectar los bordes principales

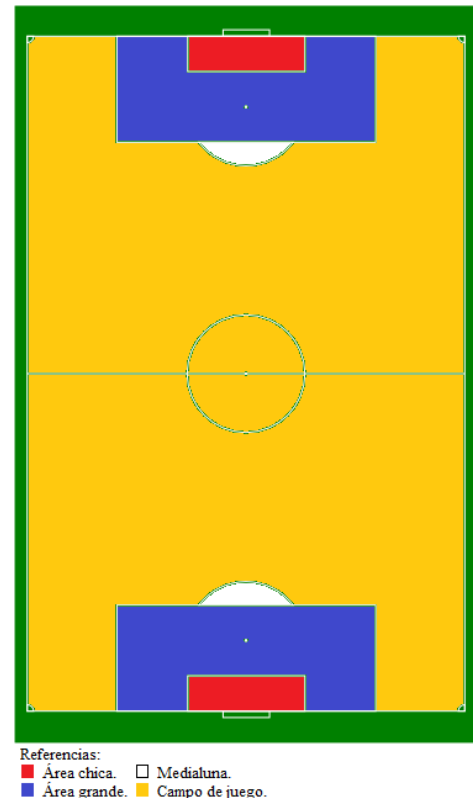


Fig. 1. Áreas significativas del campo de juego.

que delimitan las áreas deseadas para cada caso considerado, como ser alguna de las áreas grandes del campo de juego o la zona de habilitación [3]. Luego, se efectúa una operación lógica entre las máscaras de la segmentación del campo de juego y la de bordes, a fin de obtener los segmentos de rectas necesarios para delimitar las áreas deseadas en forma más precisa. Por último, se aplica la metodología específica para cada caso en función de las imágenes logradas anteriormente.

Estudios anteriores han intentado diferentes métodos y técnicas para la detección de goles mediante variados enfoques y estrategias utilizando procesamiento de imágenes, con resultados prometedores [3] [5] [6]. Recientemente, en la Copa del Mundo 2014 se ha implementado un sistema de detección de goles llamado *Goal Line Technology* mediante la utilización de múltiples cámaras de alta velocidad, con muy buenos resultados.

A fin de poder evaluar los resultados finales y obtener conclusiones, se utilizarán imágenes de partidos reales para realizar las pruebas. Los casos reales permiten validar y verificar la efectividad de las metodologías propuestas para las situaciones antes mencionadas.

## II. MATERIALES

Para la realización del presente trabajo, se utilizaron diferentes grabaciones de partidos de fútbol con imágenes

todo color en calidad HD (720p) o Full HD (1080p) y la librería para manipulación de imágenes CImg, a fin de poder poner a prueba los métodos a desarrollar a través de una interfaz sencilla. Para acotar las dimensiones del problema, solo se utilizarán imágenes obtenidas por dos cámaras ubicadas en los laterales superiores.

Estas grabaciones han sido obtenidas de diferentes fuentes como ser capturas de pantalla del juego de video *Pro Evolution Soccer 2010*, sitios de *video streaming* en Internet y de archivos fílmicos de ligas y federaciones de fútbol.

### III. METODOLOGÍA

El método consta de dos etapas, referidas a la identificación de las áreas de interés y a la detección de la infracción. Dichas áreas serán las imágenes de entrada a utilizar por alguno de los diferentes casos considerados.

La primer etapa consiste en detectar las áreas de interés en forma automática, a partir de la segmentación de alguna imagen que represente cualquiera de las infracciones consideradas, generándose una máscara binaria. Luego se realiza la detección de bordes aplicando el operador gradiente de Sobel para las direcciones horizontales y verticales, y un umbral determinado para obtener la máscara binaria de dichos bordes. Por último, se aplica el operador lógico AND entre las máscaras y se aísla el área deseada, la cual tendrá una forma trapezoidal.

La segunda etapa consiste en aplicar diferentes combinaciones de técnicas de procesamiento de imágenes y operaciones geométricas, con el objetivo de detectar si efectivamente ocurrió la infracción, y marcando gráficamente la ubicación de la misma.

Estas etapas se detallan a continuación.

#### A. Etapa 1 - Identificación

Las líneas que delimitan las diferentes áreas del campo de juego son la característica principal a tener en cuenta. En un principio, se realiza una segmentación color utilizando el modelo HSI con el fin de eliminar elementos innecesarios de la imagen, como ser las tribunas y los carteles publicitarios. La detección del valor del canal H que representa el césped, se obtiene en forma automática a partir del histograma de H, buscando un rango de valores delimitado por un umbral determinado en función del máximo valor del histograma [1] [4]. Para eliminar las sombras que puedan aparecer en la imagen y mejorar la zona a segmentar, se calcula el nuevo valor de H como una suma ponderada de los valores de los canales HSI, como se ve en la siguiente ecuación:

$$H^* = H + 100 * S + 100 * I$$

Y luego se normaliza el valor de  $H^*$ , produciendo una máscara binaria  $A$ . Las líneas pueden ser consideradas como bordes de la imagen por lo que se aplica el operador gradiente de Sobel con máscaras direccionales horizontales y verticales, generándose así la máscara binaria  $B$ . Este operador tiene la característica de que elimina ruido de tipo gaussiano a la vez que realiza la detección de bordes [3]. Una vez obtenidas las máscaras del campo de juego y de las líneas, se realiza la operación lógica AND entre ellas a fin de eliminar elementos que hayan podido ser detectados en forma errónea, produciendo la máscara binaria  $M$ :

$$M = A \text{ AND } B$$

Finalmente, se realiza la transformada de Hough sobre la máscara  $M$ , la cual permite obtener los datos de la imagen para la detección del área de interés delimitada por las intersecciones de cuatro segmentos de recta [1]. Los segmentos  $\overline{N_0}$  y  $\overline{N_1}$  serán siempre horizontales ( $\theta = 90^\circ$  o  $\theta = -90^\circ$ ), mientras que los restantes  $\overline{M_0}$  y  $\overline{M_1}$  tendrán direcciones definidas a partir de un valor de  $\rho$  y  $\theta$  en función de la ubicación del máximo acumulador en el espacio de Hough. De esta forma, se obtienen los puntos de intersección  $x_{00}$ ,  $x_{01}$ ,  $x_{10}$  y  $x_{11}$  que definen el área de interés buscada. Los segmentos y los puntos de intersección detectados se ilustran en la figura 2.

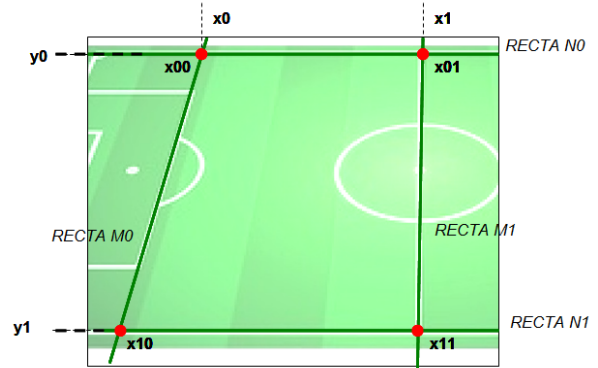


Fig. 2. Diagrama de los puntos de intersección detectados.

Para identificar los jugadores, se procede de igual forma que la segmentación color del campo de juego pero variando el valor del umbral.

#### B. Etapa 2 - Detección

Una vez obtenidos los puntos que definen el área de interés, se procede con la metodología específica de detección de faltas para los casos antes mencionados.

**B.1. Distancia a la barrera:** La distancia entre la pelota y la barrera está definida por reglamento en 9,15 metros alrededor de la pelota, pero la barrera puede ubicarse a una distancia mayor. Se capturan las coordenadas de la pelota, y a partir de estas, se define un área circular alrededor de la pelota de radio reglamentario, en donde no debe haber ningún jugador del equipo contrario. Para detectar la presencia de un jugador contrario en el área circular, primero se genera una máscara binaria de una elipse centrada en la pelota, la cual representa el área de interés. Luego, se segmentan solo los jugadores del equipo contrario y se genera otra máscara binaria [6] [7]. Por último, se verifica la existencia de algún jugador dentro de la elipse recorriendo la máscara de los jugadores por cada pixel y comprobando que exista al menos uno que tenga idéntico valor de verdad en ambas máscaras para algún punto  $(i;j)$ . Este procedimiento se esquematiza en la figura 3.

**B.2. Fuera de juego u offside:** A los fines de la metodología, se sabe de antemano qué equipo ataca y qué equipo defiende. Se realiza una segmentación color de los jugadores y se obtienen las coordenadas  $(p_x; p_y)$  del pixel que se encuentre lo más cerca posible del arco, para cada equipo [6] [7]. A partir de las pendientes  $a_0$  correspondiente a la recta  $M_0$  y  $a_1$  correspondiente a la recta  $M_1$ , y de los puntos  $(x_0; 0)$  y  $(x_1; 0)$ , se despeja la siguiente ecuación:

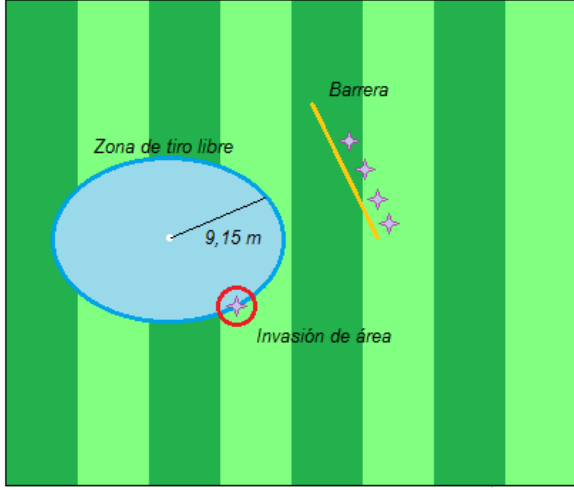


Fig. 3. Detección de infracción en la distancia a la barrera.

$$\begin{aligned} y &= a * (x - x_0) + y_0 \\ p_y &= a_i * (x_i - nx_i) + 0 \\ nx_i &= -\frac{p_y}{a_i} + x_i \end{aligned}$$

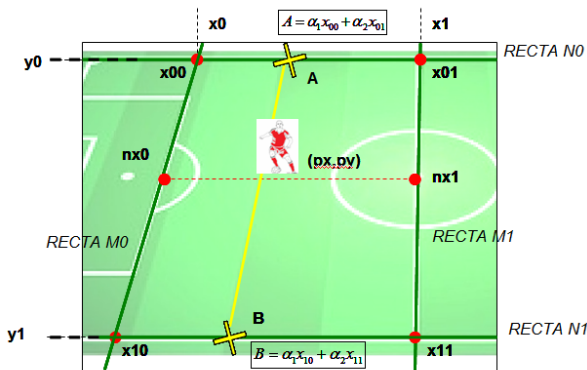
Para  $i = 0; 1$ . Los valores  $nx_i$  calculados anteriormente definen los puntos  $(nx_0; p_y)$  y  $(nx_1; p_y)$ , que servirán para calcular los pesos de la interpolación. Dichos pesos se obtienen de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{nx_1 - p_x}{nx_1 - nx_0} \\ \alpha_2 &= \frac{p_x - nx_0}{nx_1 - nx_0} \end{aligned}$$

Con lo cual, las ecuaciones para interpolación quedan definidas como:

$$\begin{aligned} A &= \alpha_1 * x_{00} + \alpha_2 * x_{01} \\ B &= \alpha_1 * x_{10} + \alpha_2 * x_{11} \end{aligned}$$

Los puntos  $A$  y  $B$  definen el segmento  $\overline{AB}$  que marca la posición del jugador considerando la perspectiva de la imagen. Este resultado se puede visualizar en la figura 4.

Fig. 4. Diagrama de los puntos de interpolación para el *offside*.

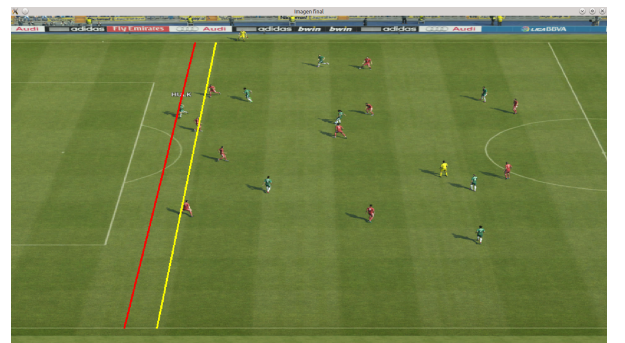
#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los métodos tienen parámetros de ajuste para refinar la detección. Para la distancia a la barrera se debe determinar la posición de la pelota mediante un evento del mouse y el equipo defensor. Para el fuera de juego, se debe especificar un valor de umbral para la segmentación color tanto del campo de juego como para los jugadores. El umbral del campo de juego está fijado en 0,08, y el de los jugadores en 0,2.

Se consideraron como imágenes de prueba situaciones donde existe infracción y donde no, para los casos considerados. Los resultados obtenidos fueron los esperados para las imágenes sintéticas, como se pueden ver en las figuras 5 y 6 para los casos de distancia a la barrera y fuera de juego, respectivamente. Hay que destacar también que algunas de las imágenes sintéticas presentaron problemas en la identificación de los jugadores, ya que al estar automatizada la segmentación, detecta a los árbitros como un tercer equipo debido a que tienen una vestimenta mucho más uniforme que los jugadores.



Fig. 5. Resultado de la detección para la distancia a la barrera.

Fig. 6. Resultado de la detección para el *offside*.

Al momento de utilizar imágenes reales, muchas de ellas presentaban defectos como ruido, desenfoque o artefactos de movimiento. Pese a haberse aplicado diferentes técnicas de restauración en dichas imágenes, la metodología no identificó correctamente las infracciones en forma automática. También se detectó que dichas imágenes no eran de calidad HD o Full HD, sino que eran imágenes capturadas a resoluciones inferiores que 1280x720 y luego escaladas (*upscale*) a resoluciones de 1280x720 o superiores. Otro problema detectado fue que la iluminación del campo de juego proyectaba sombras en una sola dirección, impidiendo

la correcta detección de los jugadores. Asimismo, la posición de las cámaras es un factor que influye en la detección de infracciones.

El hecho de utilizar el operador gradiente de Sobel, permite la detección de las líneas del campo de juego a la vez que elimina ruido de tipo gaussiano. Esto mejora la calidad de la detección, como se puede visualizar en la figura 7.



Fig. 7. Detección de líneas verticales utilizando operadores Sobel.

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La metodología ha mostrado ser eficiente al presentar buenos resultados para imágenes sintéticas, con poco error en la detección de infracciones. Es de considerar también que ninguna de las imágenes utilizadas fue sometida a preprocesamientos de mejora o restauración de ningún tipo, como ser ecualización del histograma, filtrado, reducción de ruido, conversión a escala de grises, etc.

Luego de analizar los resultados obtenidos, se puede concluir que la metodología es adecuada para los casos considerados, ya que detecta correctamente la existencia de infracciones en imágenes sintéticas. Para imágenes reales, los resultados no fueron los esperados debido a que las mismas no presentaban las condiciones de calidad preestablecidas.

Como trabajos futuros, se propone mejorar y refinar las técnicas desarrolladas anteriormente para imágenes obtenidas a través de equipos de captura de menor resolución, ya que hay una gran colección de material fílmico en definición estándar que no goza de imágenes con calidad adecuada. También es posible incorporar varias cámaras ubicadas en diversas posiciones estratégicas con el objetivo de mejorar la calidad de la detección [5]. Otra aplicación posible es utilizar o adaptar las técnicas para otros deportes, como ser el rugby, el volleyball o el basketball, por nombrar solo algunos de los más populares.

## REFERENCIAS

- [1] S. Maćkowiak y otros, "A complex system for football player detection in broadcasted video," *The International Conference on Signals and Electronic Systems*, 2010.
- [2] T. Watanabe y otros, "A soccer field tracking method with wire frame model from tv images," *International Conference on Image Processing*, 2004.
- [3] S. Yang y otros, "A scoreboard based method for goal events detecting in football videos," *Workshop on Digital Media and Digital Content Management*, 2011.

- [4] D. A. Sadlier y otros, "A combined audio-visual contribution to event detection in field sports broadcast video. case study: Gaelic football," *Centre for Digital Video Processing, Dublin City University, Ireland*, 2003.
- [5] Y. Li y otros, "Evaluating the performance of systems for tracking football players and ball," *IEEE*, 2005.
- [6] A. P. P. Mya y otros, "Extracting the motion pattern of the players from a video stream of the football game," *SICE-ICASE International Joint Conference*, 2006.
- [7] H. Kataoka y Y. Aoki, "Football players and ball trajectories projection from single camera's image," *17th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV)*, 2011.