

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 728**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/00** (2006.01)

**A63B 71/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2010** **E 10382310 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2013** **EP 2455911**

54 Título: **Procedimiento para la detección del punto de impacto de una pelota en eventos deportivos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.05.2013**

73 Titular/es:

**FUNDACIÓN CENTRO DE TECNOLOGÍAS DE  
INTERACCIÓN VISUAL Y COMUNICACIONES  
VICOMTECH (100.0%)  
Paseo Mikeletegui, 57, Parque Tecnológico  
20009 San Sebastián, ES**

72 Inventor/es:

**GARCÍA OLAIZOLA, IGOR;  
FLÓREZ ESNAL, JULIÁN;  
SAN ROMÁN OTEGUI, JUAN CARLOS;  
AGINAKO BENGOA, NAIARA y  
LABAYEN ESNAOLA, MIKEL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 402 728 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la detección del punto de impacto de una pelota en eventos deportivos.

### Campo de la invención

5 La presente invención se aplica a sistemas de ayuda al arbitraje en deportes de pelota. Más concretamente, se refiere a un procedimiento para determinar el punto de impacto de una pelota en eventos deportivos en los que el terreno de juego está limitado mediante líneas.

### Antecedentes de la invención

10 Existen varios sistemas adaptados para la detección del punto de impacto de una pelota en un terreno de juego. La finalidad de estos sistemas es la de ayudar a los árbitros a tomar decisiones en jugadas polémicas mientras se desarrolla el propio juego.

Se conocen dispositivos basados en emisores y receptores de ondas electromagnéticas como el descrito en la patente WO89/00066. Estos sistemas permiten una determinación bastante precisa del punto de impacto, pero requieren de cambios estructurales en la pelota y en el campo de juego.

15 Existen también dispositivos visuales como el descrito en la patente WO96025986, basados en cámaras de infrarrojos con las que se puede visualizar el punto de impacto de la pelota. Estos sistemas tienen la desventaja de no poder implementarse en recintos al aire libre, puesto que la lluvia, el viento y otras condiciones atmosféricas y cambios de iluminación influyen en la lectura de la posición del impacto.

El documento US2009/0067670 divulga un procedimiento para determinar el punto de impacto de una pelota, que comprende los pasos de grabación, extracción de las imágenes y selección del área correspondiente a la pelota.

### 20 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento como se define en la reivindicación 1.

25 El objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y procedimiento que hagan posible la detección del punto de impacto de una pelota en las cercanías de las líneas que delimitan el terreno de juego, o en la propia línea, en tiempo real y evitar los problemas técnicos expuestos anteriormente. Para ello el procedimiento de la invención propone grabar la zona conflictiva durante el juego mediante una sola cámara, extraer las imágenes correspondientes a la jugada conflictiva, seleccionar el área correspondiente a la pelota, calcular las coordenadas de la pelota en píxeles en cada imagen, representar los puntos con las coordenadas calculadas en el paso anterior, determinar el punto de intersección de los dos segmentos que unen los puntos anteriores y por último transformar el punto de intersección a coordenadas reales. Para el cálculo de las zonas de interés y punto de intersección de los  
30 segmentos, se utilizan preferentemente los vectores movimiento y velocidad. Preferentemente, todo se realiza en una escala de grises para simplificar y reducir recursos.

El procedimiento tiene la ventaja adicional de que el plano de la cámara y el plano de bote de la pelota pueden formar cualquier ángulo, puesto que se realizarán las transformaciones necesarias para el cálculo del punto de impacto en coordenadas reales.

### 35 Breve descripción de las figuras

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña la siguiente descripción de un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo se ha representado lo siguiente:

40 La figura 1 es una representación esquemática de la posición de la cámara usada en el procedimiento de la invención respecto al terreno de juego y la línea que lo limita.

La figura 2 es una representación de la determinación del punto de impacto, que a su vez es el punto de intersección de las dos líneas que representan las posiciones de la pelota en las proximidades al punto de impacto y después del punto de impacto.

Las figuras 3a y 3b representan los pasos en la calibración de la cámara.

### 45 Descripción detallada de la invención

50 El sistema de la invención se compone de una cámara capaz de captar preferiblemente al menos 50 fotogramas por segundo, medios para almacenar y procesar las imágenes, extrayendo la posición de la pelota en cada fotograma, medios para calcular la velocidad de la pelota en cada instante a partir de los datos anteriores y medios para calcular la posición del punto de intersección de las líneas que unen los puntos que representan la posición de la pelota en cada uno de los fotogramas.

La velocidad de captura de la cámara se determina a partir de la velocidad de la pelota y también a partir del campo de visión que se esté captando en cada momento. Si se capta un mayor campo de visión se puede tener una velocidad de captura menor.

5 Para la implementación del sistema de detección del punto de bote de la pelota (figura 1), se coloca una cámara (1), preferentemente en las inmediaciones de la línea de campo (4) en la que se quiere detectar la posición del impacto. Cuanto más cerca se coloque la cámara mayor resolución tendrán las imágenes captadas, es decir, con un mismo número de píxeles se representará un área más pequeña, y por lo tanto aumentará la exactitud del resultado.

10 Dicha cámara debe tener la capacidad de detectar preferentemente un mínimo de 50 imágenes por segundo y debe tener una velocidad de obturación configurable. Tanto la velocidad de captura de imágenes como la velocidad de obturación deben definirse al iniciar el sistema. La velocidad de obturación se debe configurar teniendo en cuenta la iluminación de la escena; cuanto menor sea la cantidad de luz menor velocidad de obturación y viceversa. Asimismo, este parámetro está limitado por la necesidad de que no se deforme la forma redonda de la pelota a la hora de captar el fotograma.

15 La velocidad de captura depende del campo de visión de la cámara (2) y de la velocidad máxima de la pelota. Preferentemente debe ser como mínimo de 50 imágenes por segundo para poder definir la posición de la pelota con la exactitud suficiente y de esta manera poder determinar la posición del bote con un error mínimo, permitiendo que los resultados puedan ser aceptados como válidos. Cuanto mayor sea la velocidad de captura de imágenes, mayor información sobre la trayectoria de la pelota se obtendrá y por lo tanto, la posición de bote será más exacta, pero se debe tener en cuenta que el procesado de las imágenes será más costoso y por lo tanto se puede alejar de la aplicación en tiempo real que se quiere realizar. Por lo tanto, a la hora de elegir la velocidad de captura de imágenes se debe tener en cuenta no sólo la velocidad de la pelota, sino también el tiempo de procesado necesario. Es posible determinar de antemano cuál va a ser la velocidad máxima de esa pelota y en función de este valor determinar la velocidad de captura mínima necesaria.

25 Asimismo, se debe tener en cuenta el campo de visión de la cámara para determinar el número de imágenes que se captan por segundo. Cuanto mayor sea el campo de visión, menor velocidad de captura requerirá el sistema. A pesar de que este parámetro debe ser tenido en cuenta, no es tan determinante como la velocidad de la pelota.

30 Una vez inicializado el sistema, se comienza con la grabación. La cámara está grabando durante la duración de todo el juego la zona conflictiva alrededor de la línea de campo (3) y almacenando la información en un PC o cualquier medio informático en donde también se procesarán los datos. Cuando existe una jugada polémica, el usuario debe indicar al sistema que se ha producido dicha jugada y en ese momento el sistema comenzará a realizar el análisis de las imágenes. Para ello, extrae de la memoria las últimas imágenes, teniendo en cuenta que el grupo de esas últimas imágenes debe contener la jugada polémica. El número de imágenes que se debe extraer se define al comienzo del juego dependiendo del número de imágenes por segundo que graba la cámara.

35 Una vez extraído el conjunto de imágenes, se extrae la primera imagen de la secuencia que será la imagen de referencia. Todo el procesado de imagen que se haga una vez extraídas las imágenes, se realiza en lo que se define como región de interés de la imagen. Esta región de interés es una fracción de la imagen que se define a partir de un vector de movimiento que se determina con la posición de la pelota en imágenes consecutivas. Más adelante se resume el cálculo de dicho vector de movimiento.

40 El realizar el procesado de las imágenes únicamente en una fracción de la imagen agiliza el procesado y por lo tanto, se logra un funcionamiento en tiempo real.

A partir de este punto, todas las referencias que se hagan a una imagen, se refieren a la región de interés definida para cada una de las imágenes de la secuencia.

45 Todas las imágenes de la secuencia se convierten de un espacio de color, que viene determinado por la salida de la cámara, a un espacio en escala de grises. Todo el procesado que se aplique a las imágenes se realizará en escala de grises puesto que la información necesaria es la información de la luminancia. Para cada una de las imágenes de la secuencia, se calcula la diferencia pixel a pixel con la imagen anterior (temporalmente) y con la imagen de referencia, de modo que se obtienen dos imágenes de diferencia. Estas dos imágenes se convierten a imágenes en blanco y negro a partir de un valor umbral. Para cada pareja de imágenes se realiza la operación lógica AND, operación a partir de la cual se extraen únicamente las regiones que se encuentran en ambas imágenes. De esta manera se discrimina la región correspondiente a la pelota. La posibilidad de discriminar la región de la pelota de esta manera se debe a que la velocidad de la pelota es notablemente mayor al resto de los objetos que se encuentran en la escena.

50 También hay que eliminar las regiones conocidas como ruido, para lo que una vez realizada la operación lógica AND se selecciona la región de la pelota para cada una de las imágenes de la secuencia. Dicha región se escoge teniendo en cuenta criterios de área, forma y posición de las regiones candidatas.

55 El valor del área viene determinado por el valor del área de la pelota en la imagen anterior, salvo en la primera iteración en la que se consideran unos umbrales predefinidos. En el caso de obtener valores de área similares para

varias regiones candidatas, la posición de la región dentro de la imagen determina la región candidata más probable para ser una pelota. Y por último, se descartan las regiones que no tengan una forma elíptica. De este modo, se extrae la región que se considera que es la pelota.

5 Tras haber detectado la pelota en la imagen, se calculan el vector de movimiento y el vector de velocidad de la pelota teniendo en cuenta las coordenadas  $x'''$  e  $y'''$  en píxeles respecto a la imagen anterior y el tiempo que ha transcurrido entre una imagen y la siguiente. Para calcular el vector de movimiento se calcula la diferencia entre las coordenadas ( $x'''$  e  $y'''$ ) del centro de la pelota para imágenes consecutivas.

10 Para calcular el vector de velocidad únicamente se debe añadir el concepto del tiempo. Este tiempo viene determinado por la velocidad de captura de las imágenes que se ha definido en la cámara al iniciar el sistema. Para determinar la velocidad se calculan la velocidad en la coordenada  $x'$  y la velocidad en la coordenada  $y'$ , siendo la velocidad total el módulo de dicho vector.

$$t_{capt} = \frac{1}{v_{capt}}$$

$$v_x = \frac{x'''_n - x'''_{n-1}}{t_{capt}}$$

$$v_y = \frac{y'''_n - y'''_{n-1}}{t_{capt}}$$

$$v_{TOTAL} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

15 El cálculo del vector de movimiento permite agilizar el proceso de la detección de la pelota, puesto que una vez que se ha detectado la pelota en las primeras imágenes y se tiene el vector de movimiento se puede definir en la siguiente imagen una región de interés aproximada en donde buscar la pelota. Para ello, se toma el punto central de la pelota y a partir del vector de movimiento se estima en qué posición estará la pelota en la siguiente imagen y se extrae la región de interés. De este modo, no es necesario procesar toda la imagen sino que es suficiente con coger la región de interés y hacer la búsqueda únicamente en esa región. El tamaño de esa región viene determinado por el tamaño en la imagen de la pelota, la velocidad de la pelota y el tamaño de la imagen. Cuanto mayor sean el tamaño y la velocidad de la pelota mayor deberá ser esa región de interés. Asimismo, cuanto mayor sea la imagen mayor será la región y viceversa. Esta región de interés es la región en la que se realiza todo el procesado de imagen.

20 El proceso definido hasta ahora, se repite para cada par de imágenes de la secuencia. Como puede apreciarse en la figura 2, una vez extraído el vector de velocidad para toda la secuencia de imágenes, la secuencia de posiciones de la pelota, tanto en  $x'''$  como en  $y'''$ , se divide en dos segmentos (5). Para determinar el límite de los segmentos, se tiene en cuenta la diferencia en ángulo y módulo del vector de velocidad. El valor máximo de la diferencia de ángulo determinará ese límite que dividirá los puntos en dos segmentos. En caso de que haya valores de ángulos similares, será el módulo el que determine ese límite.

25 Una vez que las coordenadas de la posición de la pelota se han representado en dos segmentos, se realiza una aproximación de mínimos cuadrados para cada uno de los dos segmentos. Para el cálculo de esta curva de aproximación, se descartan de manera reiterativa los puntos que quedan por encima de una distancia mínima de la curva. De esta manera, se determina la trayectoria de la pelota para cada uno de los dos segmentos. El punto de intersección de las curvas resultantes se considera que es el punto de bote de la pelota.

30 La posición del punto de bote está referenciada respecto a las coordenadas  $x'''$  e  $y'''$  de la imagen y se desea conocer la distancia real del punto de bote respecto a la línea de campo. Para ello se realiza la calibración de la cámara que consiste en realizar una transformación geométrica para poder extraer las coordenadas  $x$  e  $y$  en el plano de la línea de campo a partir de las coordenadas  $x'''$  e  $y'''$  en píxeles.

35 La transformación geométrica se debe definir al inicializar el sistema y consiste en indicar qué coordenadas reales tienen algunos puntos de la imagen identificados por las coordenadas en píxeles. De esta manera, una vez identificado el punto del bote se podrá calcular la posición en el plano real. A este proceso se le conoce como calibración de la cámara.

40 La calibración consiste en calcular una serie de parámetros que permiten situar la cámara (posición e inclinación) respecto a un punto de referencia ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) del mundo real. Se calculan una matriz de transformación de plano ( $H$ ) y una matriz que contiene parámetros intrínsecos de la cámara que relacionan las medidas en el sistema de referencia de la escena (en milímetros) con la posición de puntos en la imagen expresados en píxeles. De ahí se extrae un

conjunto de matrices (K, R, t) que describen los parámetros de rotación y traslación de la cámara permitiendo extraer las coordenadas (x, y) en el plano de la línea de campo.

- 5 La matriz transformación (H) se debe definir al inicializar el sistema e indica con qué coordenadas reales se corresponden algunos puntos de la imagen de la cámara. De esta manera, una vez identificado el punto de bote en la imagen se podrá calcular la posición en el plano real.

La transformación geométrica resultante solamente funciona para todos aquellos puntos del plano Z=0. Por ello, es necesario definir el punto de bote en la imagen El punto estará definido por las coordenadas (x'', y'') en píxeles (véase Fig. 3b).

$$x'' = x''' + R * \text{Sen}(\alpha)$$

$$y'' = y''' + R * \text{Cos}(\alpha)$$

- 10 Se asume un pequeño error ya que el punto exacto donde la pelota toca el suelo no figura en la imagen, ya que lo tapa la propia pelota.

Una vez calculado el punto (x'', y'') se transforma el punto al plano real multiplicándolo por la matriz de transformación de plano (H).

$$(x', y') = H * (x'', y'')$$

$$H = \begin{pmatrix} a_{(1,1)} & a_{(1,2)} & a_{(1,3)} \\ a_{(2,1)} & a_{(2,2)} & a_{(2,3)} \\ a_{(3,1)} & a_{(3,2)} & a_{(3,3)} \end{pmatrix}$$

- 15 Tal y como se aprecia en la Fig. 3b el punto (x', y') no es una proyección exacta del centro de la pelota por lo que la trasladamos en la dirección del vector óptico de la cámara una distancia que depende de la posición e inclinación de la cámara hasta el punto central.

$$x = x' + v_x(K, R, \vec{t})$$

$$y = y' + v_y(K, R, \vec{t})$$

- 20 Una vez calculada la posición real del punto del bote, que está referenciada en la línea de campo, se puede identificar si la pelota ha botado fuera, dentro o en la propia línea.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la determinación del punto de impacto de una pelota en un campo de juego durante una jugada polémica en un evento deportivo que se **caracteriza por** los siguientes pasos:
  - grabación de la zona conflictiva durante el juego, mediante una sola cámara
- 5
  - extracción de las imágenes correspondientes a la jugada conflictiva
  - selección del área correspondiente a la pelota
  - cálculo de las coordenadas de la pelota en píxeles en cada imagen
  - representación de los puntos con las coordenadas calculadas en el paso anterior
  - determinación del punto de intersección de los dos segmentos que unen los puntos anteriores
- 10
  - transformación del punto de intersección en coordenadas reales.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la velocidad de obturación de la cámara es de al menos 50 imágenes por segundo.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se calcula el vector de velocidad y se usa para determinar el límite de los segmentos, mediante la diferencia en ángulo y módulo.
- 15 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un paso de cálculo del vector de movimiento de la pelota para cada una de las imágenes.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, que incluye un paso en el que se selecciona la región de interés a partir del vector de movimiento.
- 20 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende un paso de transformación de las imágenes en color a una escala de grises, previo a la extracción de imágenes.

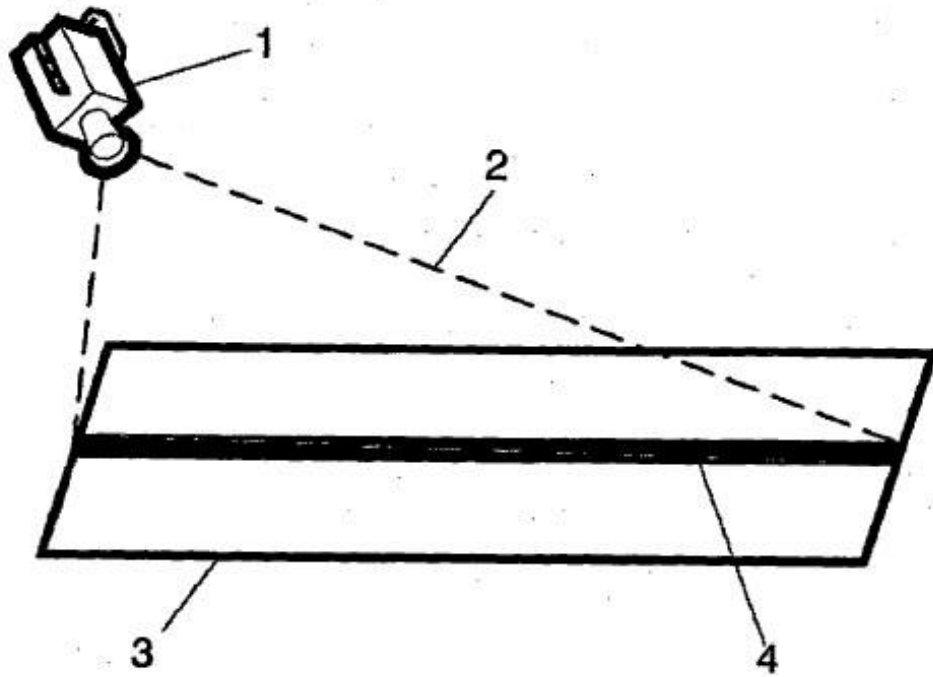


FIG. 1

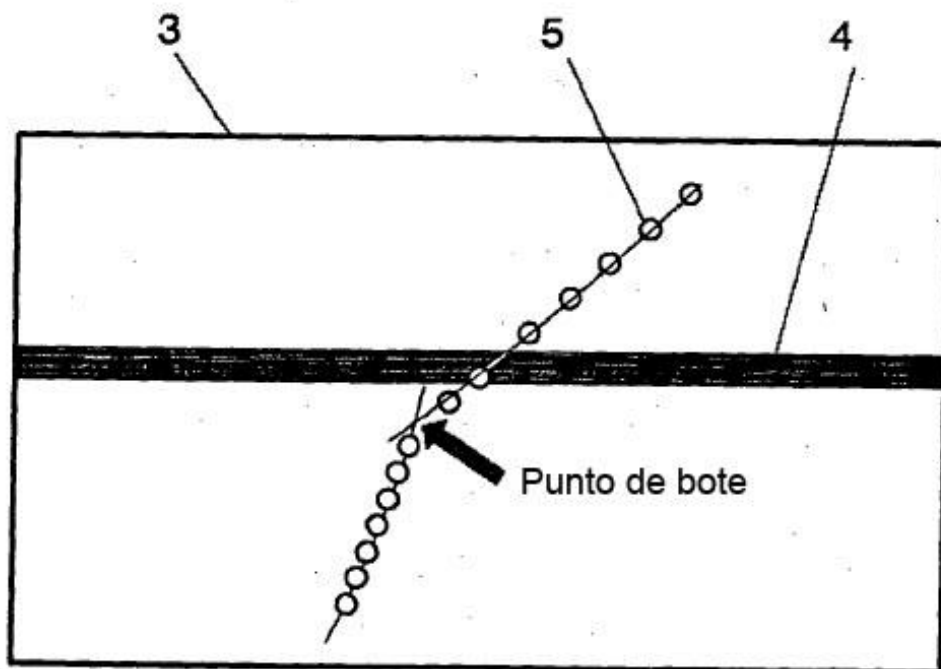


FIG. 2

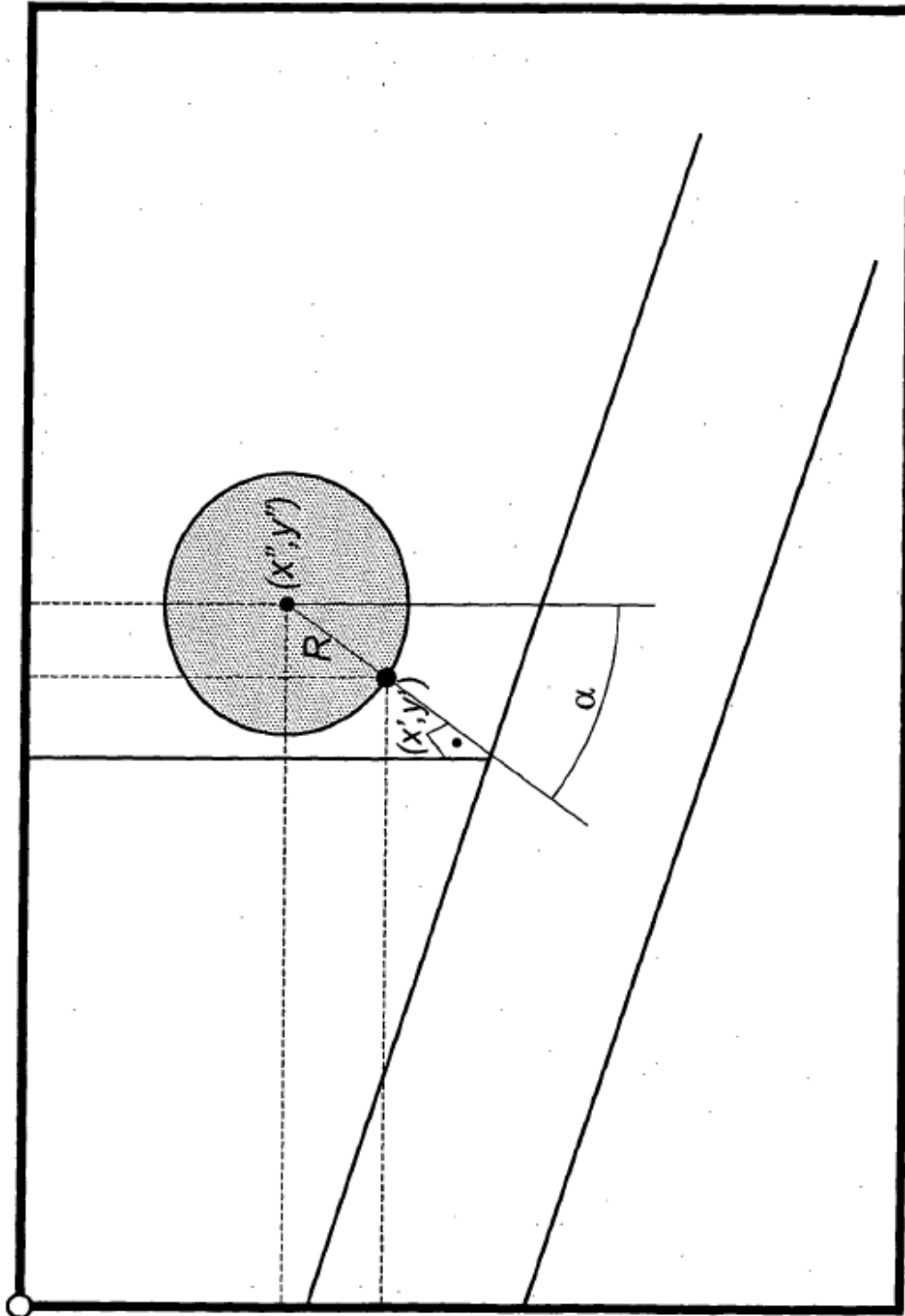


FIG. 3a



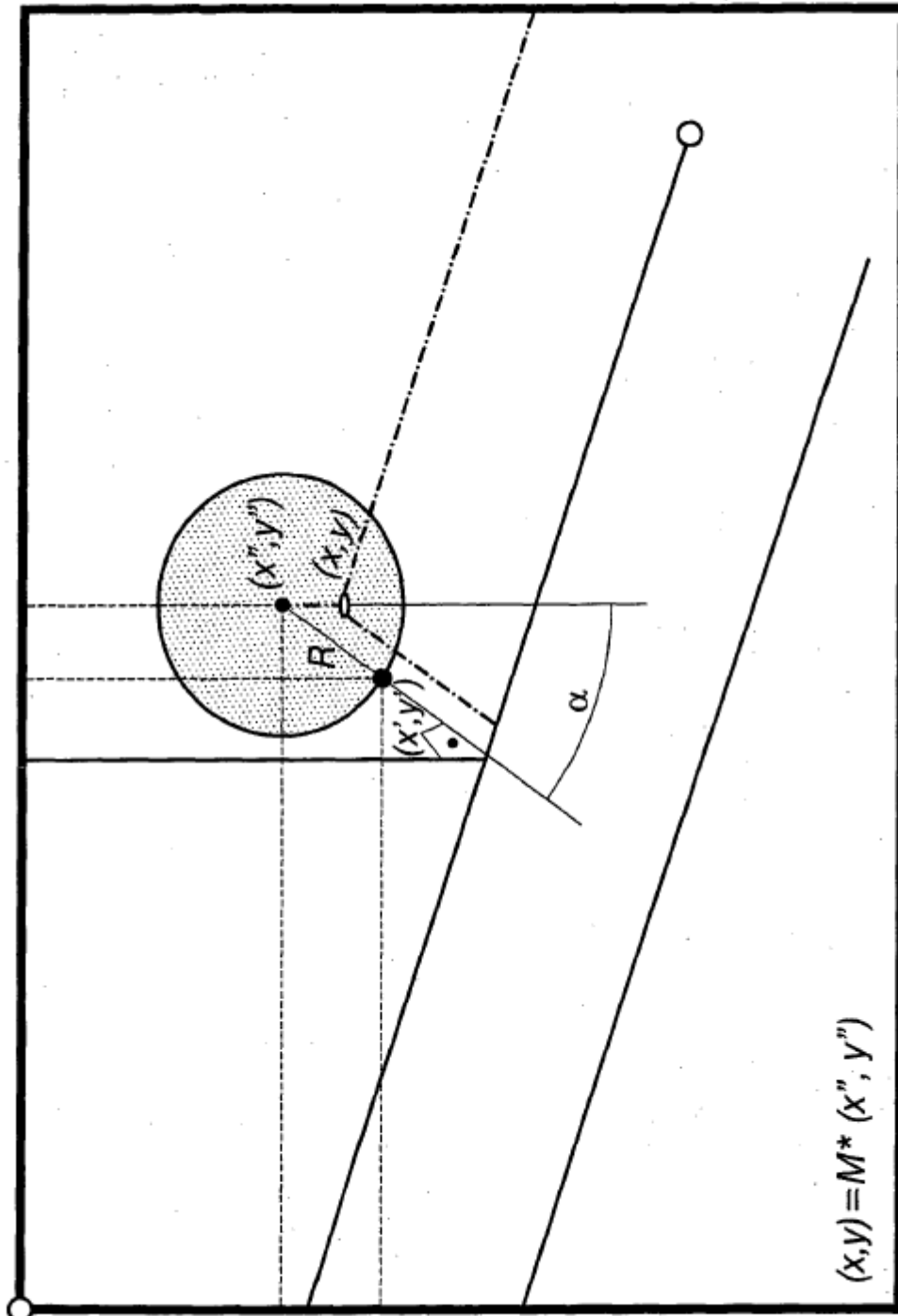


FIG. 3b