

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 289**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/80** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2009** **E 09380137 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018** **EP 2287806**

54 Título: **Procedimiento para calibrar una cámara basado en una imagen en la que un círculo y al menos una línea son visibles**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.12.2018**

73 Titular/es:

**MEDIAPRODUCCIÓN, S.L. (100.0%)**  
**Avda. Diagonal 177-183, 12a planta "Edificio Imagina"**  
**08018 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**ALVAREZ LÉON, LUIS y**  
**CASELLES COSTA, VICENT**

74 Agente/Representante:

**URÍZAR VILLATE, Ignacio**

**ES 2 692 289 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 calibrar una cámara basado en una imagen en la que un círculo y al menos una línea son visibles

5

### **Campo técnico de la invención**

[0001] La presente invención se refiere a un proceso para calibrar una cámara de un video y de TV, usando un círculo e información complementaria. En particular, la presente invención se encuadra dentro del campo técnico de la industria audiovisual, más específicamente la calibración de la cámara, es decir, la estimación de todos los parámetros que permiten que la cámara se sitúe en la escena usando imágenes. La presente invención es particularmente aplicable a la transmisión de eventos, en particular eventos deportivos.

### **Antecedentes de la invención**

[0002] Se sabe que existe una gran cantidad de realizaciones de algoritmos y procesos de calibración de cámaras de TV en el estado actual de la técnica, basados en una línea recta y una figura como un cono o cuadrado para calcular, en esencia, la distancia focal de la lente de la cámara y su posición y orientación en el espacio. La calibración implica la parametrización euclidiana de la zona del espacio de interés para permitir, en base a un punto teórico, el cálculo de una perspectiva cónica que responde a la realidad y la visualización de un evento desde un punto diferente al del marco de la cámara.

[0003] La calibración completa de la cámara implica el cálculo de sus parámetros intrínsecos, es decir, tamaño de píxel, centro de proyección, longitud focal de la lente y modelo de distorsión de la lente, y sus parámetros extrínsecos, es decir, su posición y rotación en el espacio. Los parámetros intrínsecos (excepto la distancia focal, que puede variar en el caso de las lentes zoom) pueden calcularse en el laboratorio utilizando patrones de calibración. La presente invención entra dentro del alcance de la calibración de cámaras en la que se conocen todos los parámetros intrínsecos, excepto la distancia focal, que es una situación habitual en la práctica. Por lo tanto, los parámetros a estimar son la distancia focal de la lente y su posición y orientación en el espacio.

[0004] En la actualidad, los métodos de calibración de cámaras requieren la localización de un número mínimo de primitivas en la escena. El caso habitual es conocer la posición en el campo de al menos cuatro puntos o líneas rectas en un plano. Cuando el número de primitivas localizadas es insuficiente, estas técnicas no pueden aplicarse; tal es el caso en el que se centra la presente invención, donde la primitiva principal utilizada para calibrar la cámara es un círculo visible en la imagen. Esta situación aparece con frecuencia en cámaras instaladas en escenarios deportivos (por ejemplo, canchas de fútbol o canchas de baloncesto) en las que se ve el círculo central o el círculo de tiro libre (baloncesto), etc. Dependiendo de la situación, la información complementaria también suele ser visible, como, por ejemplo, la línea del medio campo, el punto central, la línea de fondo, etc.

45

[0005] La patente US5650352, de Saied Moezzi, Arun Katkere y Ramesh Jain, divulga un método de "telepresencia" que consiste en una representación de una escena de video real,

diferente de la escena instantánea que es vista por un espectador, que comprende la generación de mosaicos basados en escenas múltiples de video de una escena tridimensional, de donde se derivan otras imágenes e incluso escenas interactivas o imágenes estereoscópicas. La aplicación del método tiene el inconveniente de requerir múltiples imágenes simultáneas.

[0006] La solicitud de patente US2001/0031067 A1, de Howard J. Kennedy Jr. y Yi Tan en 2001, "algoritmo de reconocimiento y seguimiento 2-D/3-D para aplicaciones de fútbol", divulga un proceso para calibrar una cámara basado en una elipse y en que la imagen que no requiere imágenes múltiples. De acuerdo con las limitaciones establecidas por los propios solicitantes, el proceso solo puede aplicarse en situaciones muy específicas en las que la cámara está orientada hacia el centro del campo y alineada con la línea central divisoria en el caso de estadios o campos deportivos (es decir, la elipse es una elipse regular) y se conoce la distancia desde la cámara al centro del campo. Además, el proceso se basa en el ajuste, ya sea manual o iterativo, de la orientación de la cámara, con los posibles problemas de convergencia que son habituales en los métodos iterativos.

[0007] En el artículo de Qihe Li y Yupin Luo, "Calibración automática de cámaras para imágenes de partido de fútbol", Actas de la Academia Mundial de Ciencias, Ingeniería y Tecnología (Volumen 1, enero de 2005, ISSN 1307-6884), los autores proponen diferentes métodos para calcular los parámetros intrínsecos y extrínsecos de un sistema de cámara basado en una vista del círculo central, la línea del mediocampo y las líneas laterales. Para calcular los parámetros intrínsecos, se utilizan la sección cónica en el plano en el infinito y al menos tres vistas del campo. Los puntos circulares que proporcionan las ecuaciones para calcular los parámetros intrínsecos se pueden calcular utilizando la información geométrica contenida en la imagen del círculo central y las líneas mencionadas en el párrafo anterior.

[0008] En este artículo, el cálculo de los parámetros extrínsecos de cada cámara se basa en el cálculo de la homografía entre el campo de imagen y el campo de referencia. Para calcular la homografía entre el campo de imagen y el campo de referencia, se utiliza la correspondencia entre al menos cuatro puntos desalineados para cada cámara. Para obtener dichos puntos desalineados, se usan puntos en la línea del medio campo, la línea central y los puntos en un plano infinito.

[0009] Las principales limitaciones detectadas en este artículo son las siguientes. En primer lugar, el artículo está orientado principalmente al cálculo de los parámetros intrínsecos que requieren tres vistas del campo. En segundo lugar, la estrategia para calcular los parámetros extrínsecos de cada cámara se basa en calcular la homografía entre el plano de imagen y el campo de referencia en función de la extracción de los puntos correspondientes, dando lugar a un proceso que no es muy robusto dada la dificultad de encontrar con precisión los puntos correspondientes no alineados en una vista central del campo. Además, el método propuesto en el artículo permite la detección de hasta tres puntos en la línea del medio campo y un punto en un plano infinito, que no es suficiente para calcular la homografía (la detección de un conjunto de puntos en una línea recta y un solo punto fuera de la línea recta no es suficiente para determinar la homografía). De hecho, el artículo no menciona un solo experimento para calcular parámetros extrínsecos.

[0010] Los siguientes artículos:

5 Farin et al.: "Calibración de cámara robusta para videos deportivos usando modelos de corte". Procedimientos del SPIE - La Sociedad Internacional de Ingeniería Óptica, SPIE, EE. UU., Vol. 5307, enero de 2004, páginas 80-91; y

10 Szenberg et al.: "Calibración automática de cámaras para secuencias de imágenes de un partido de fútbol" Avances en el reconocimiento de patrones - ICAPR 2001. Actas de la Segunda Conferencia Internacional (Notas de la Conferencia en Ciencias de la Computación Vol. 2013) Springer-Verlag Berlín, Alemania 2001, páginas 301-310, en las que se describe el uso de diferentes características de línea y los puntos de intersección de estas líneas para la calibración robusta de cámaras de video deportivas. Combinando las enseñanzas de cualquiera de estos artículos, el experto llegará al preámbulo de la reivindicación 1.

15

[0011] La presente invención tiene como objetivo ofrecer una solución a estos problemas y limitaciones y proporcionar un proceso que permita que las cámaras se calibren con precisión de forma automática y directa (sin procesos iterativos) en situaciones de alto interés práctico donde las técnicas habituales no pueden utilizarse o porque el número de primitivos es insuficiente para dichos métodos, o porque la cámara no tiene una configuración especial como las establecidas en la patente antes mencionada.

20

### **Explicación de la invención**

25 [0012] Para este fin, el objeto de la presente invención es, de acuerdo con un primer aspecto, un nuevo proceso para calibrar una cámara utilizando una vista en la que un círculo, el centro del círculo y una línea que cruza el centro del círculo son visibles, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

30

- a. Cálculo de una homografía que transforma la unidad circular en el círculo proyectado sobre la imagen;
- b. Cálculo completo de la homografía que transforma el plano de referencia en la escena del plano proyectado en la cámara utilizando dos elementos geométricos adicionales; y
- c. Cálculo basado en la homografía de la distancia focal y la posición y orientación de la

35

[0013] En una primera variante, dichos dos elementos geométricos adicionales son el punto en el centro del círculo y la línea que cruza el centro del círculo.

40 [0014] En una segunda variante, dichos dos elementos geométricos adicionales son dos líneas rectas que son visibles en la imagen.

### **Breve descripción de los dibujos**

45 [0015] Se proporciona a continuación una descripción detallada de las realizaciones preferidas, aunque no exclusivas, del proceso objeto de la presente invención, acompañada

de dibujos para una mejor comprensión de la misma, en donde formas de realización de la presente invención se ilustran a modo de ejemplo no limitativo. En dichos dibujos:

Fig. 1. muestra una vista esquemática en perspectiva tomada por una cámara en un campo de fútbol (mostrado a escala) donde el círculo central, el punto en la línea central y la línea del medio campo son visibles;

Fig. 2. muestra un gráfico que ilustra la calibración de la cámara de la Fig. 1, en la que se muestra la posición y la orientación de la cámara en el espacio;

Fig. 3. muestra una vista esquemática en perspectiva tomada desde una cámara en una cancha de baloncesto (mostrada a escala) en la que el círculo central, la línea del mediocampo y una línea de base son visibles; y la

Fig. 4. muestra un gráfico que ilustra la calibración de la cámara de la Fig. 3, en la que se muestra la posición y la orientación de la cámara en el espacio.

### Descripción detallada de los dibujos

[0016] En dichos dibujos, podemos observar el modo de operación del proceso de la presente invención, para calibrar una cámara 10 usando una vista en la que son visibles un círculo 1 e información complementaria. Específicamente, se presentan dos escenarios:

- i. conocer la posición del círculo central 1, el centro 7 del círculo 1 y una línea 5 que cruza el centro 7 del círculo 1 (como en el ejemplo que se muestra en las Fig. 1 y 2), relacionado con un campo de fútbol), y
- ii. conocer la posición de un círculo 1 y dos líneas rectas 5 y 5' en la imagen (como en el ejemplo que se muestra en las Fig. 3 y 4, relacionadas con una cancha de baloncesto). Las etapas principales del proceso de calibración propuesto son las siguientes:

- 1) Cálculo de una homografía que transforma la unidad circular en el círculo proyectado, en forma de una elipse 2, sobre la imagen.
- 2) Determinación completa de la homografía que transforma el plano de referencia 3 en la escena en el plano proyectado 4 en la cámara 10 usando la información complementaria obtenida.
- 3) Cálculo basado en la homografía de la distancia focal  $f$  y la posición y orientación de la cámara 10 en el espacio.

[0017] Cada una de estas etapas se explica en detalle a continuación:

#### 1) Cálculo de una homografía que transforma la unidad circular en el círculo proyectado, en forma de una elipse 2, sobre la imagen

[0018] Consideramos que la proyección del círculo 1 sobre la imagen está dada por la elipse 2 de la ecuación  $\bar{x}^T A \bar{x} = 0$  donde A es una matriz simétrica de 3x3. Del mismo modo, A es una matriz simétrica que puede descomponerse (diagonalizarse) de la siguiente manera:

$$A = O^T \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix} O \quad (1)$$

[0019] Donde  $O$  es una matriz ortonormal y  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 > 0$  son los valores propios de  $A$ . Se puede demostrar fácilmente que la transformación  $\bar{x} = H\bar{y}$  donde

$$\tilde{H} = O^T \begin{pmatrix} 1/\sqrt{\lambda_1} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{\lambda_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{-\lambda_3} \end{pmatrix} \quad (2)$$

transforma la elipse  $\bar{x}^T A \bar{x} = 0$  en la unidad del círculo.

5

(2) Determinación completa de la homografía que transforma el plano de referencia 3 en la escena en el plano proyectado 4 en la cámara 10, usando la información complementaria obtenida.

10 [0020] Al determinar una homografía  $\tilde{H}$ , que transforma el círculo proyectado o elipse 2 en la imagen en la unidad del círculo, cualquier otra transformación que preserve esta propiedad se puede expresar como  $H = \tilde{H} R_\alpha B_a R_\beta$ , donde

$$R_\alpha = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad B_a = \begin{pmatrix} \sqrt{1+a^2} & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 \\ a & 0 & \sqrt{1+a^2} \end{pmatrix} \quad R_\beta = \begin{pmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

15 Y  $\alpha, \beta$  y  $a$  son parámetros reales. Por lo tanto, para determinar completamente la transformación del campo proyectado en la imagen en el campo real, los parámetros  $\alpha, a$  y  $\beta$  deben establecerse. Para este fin, se usará la información complementaria obtenida en la escena. Específicamente con respecto a esta información complementaria, consideramos dos posibles escenarios:

20

i) Se conocen el centro 7 del círculo 1 y una línea recta 5 que cruza el centro 7 del círculo 1 (Fig. 1 y 2)

25 Si  $(0,0)$  es el centro de la unidad del círculo y  $(x_0, y_0)$  es su proyección 8 en la imagen, tenemos:

$$\begin{pmatrix} \alpha \cos \alpha \\ -a \sin \alpha \\ \sqrt{a^2+1} \end{pmatrix} = s \tilde{H}^{-1} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

30 para un valor de  $s$  y a partir de esta ecuación podemos obtener  $a$  y  $\alpha$ . Para obtener  $\beta$ , usamos la información de la línea recta 5 que cruza el centro 7 del campo 3. Si consideramos que la proyección de la recta línea  $T\bar{x} = 0$ , luego obtenemos la ecuación:

$$R_\beta^T B_a^T R_\alpha^T \tilde{H}^T \bar{l} = s \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

a partir de la cual es posible obtener  $\beta$ .

ii) además de un círculo 1, hay dos líneas rectas 5 y 5' visibles en la imagen (Fig. 3 y 4)

iii) Suponemos que se conocen dos líneas rectas  $6, 6'$  en la imagen de ecuación  $\tilde{l}_1' \bar{x} = 0$  y  $\tilde{l}_2' \bar{x} = 0$  que corresponden a las líneas rectas  $5, 5'$  de las respectivas ecuaciones  $\tilde{v}_1' \bar{x}' = 0$  (línea recta 6) y  $\tilde{v}_2' \bar{x}' = 0$  (línea recta 6') en el plano de referencia. Para cada par de líneas rectas correspondientes, lo siguiente debe ser verdadero (para  $i = 1, 2$ ):

5 
$$B_\sigma R_\beta \tilde{v}_i' = s R_\alpha' \tilde{H}' \tilde{l}_i' \quad (6)$$

[0021] Dada la forma del matrices  $R_\alpha, B_\sigma, R_\beta$ , tomando la norma de la equivalencia anterior, llegamos a un sistema de ecuaciones en el que las incógnitas son  $\alpha$  y  $\beta$ . Añadiendo la información de las correspondencias de los dos pares de líneas rectas ( $5, 6; 5', 6'$ ), primero obtenemos los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  y, posteriormente, el valor de  $\sigma$ .

10

(3) Cálculo basado en la homografía de la distancia focal  $f$  y la posición y orientación de la cámara 10 en el espacio.

[0022] La cámara está representada por el punto de referencia 10, que es representativo del foco 5  $\bar{c}=(cx, cy, cz)$

$$H = \tilde{H} R_\alpha B_\sigma R_\beta$$

[0023] Una vez que hemos determinado completamente la homografía del campo de referencia 3 en el campo proyectado 4 en la imagen, estimamos la distancia focal de la lente y la posición de la cámara en la escena. En primer lugar, observamos que los parámetros intrínsecos de la cámara están dados por:

20

$$I' = \begin{pmatrix} f & 0 & x_c \\ 0 & f \cdot r & y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

donde  $f$  representa la distancia focal (véanse las Fig. 2 y 4),  $r$  es razón para el aspecto de los píxeles y  $(x_c, y_c)$  son las coordenadas del punto principal en píxeles. Todos los elementos se suponen conocidos excepto por la distancia focal  $f$ . Por otro lado, la relación entre la homografía y los parámetros de la cámara viene dada por:

25

$$H = s I' R \begin{pmatrix} 1 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & -c_y \\ 0 & 0 & -c_z \end{pmatrix} \quad (8)$$

donde  $R$  es la rotación de la cámara 10 en espacio y  $\bar{c}=(cx, cy, cz)$  es su foco. Para calcular la distancia focal  $f$  tomaremos en cuenta la siguiente ecuación:

30

$$H' \begin{pmatrix} 1 & 0 & -x_c \\ 0 & \frac{1}{r^2} & -\frac{1}{r^2} y_c \\ -x_c & -\frac{1}{r^2} y_c & \frac{1}{r^2} y_c^2 + x_c^2 + f^2 \end{pmatrix} H = f^2 s^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & -c_x \\ 0 & 1 & -c_y \\ -c_x & -c_y & (c_x)^2 + (c_y)^2 + (c_z)^2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

y usaremos la equivalencia del primer bloque 2x2 de la relación previa para determinar las ecuaciones con las cuales podemos deducir la distancia focal  $f$ , los parámetros y el vector

$\bar{c}=(cx, cy, cz)$ . Junto con  $\bar{c}$ , la posición de la cámara 10 en el espacio está determinada por la rotación  $R$  que se calcula en función de la relación:

$$R = s^{-1} I^{-1} H \begin{pmatrix} 1 & 0 & -\frac{c_x}{c_z} \\ 0 & 1 & -\frac{c_y}{c_z} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{c_z} \end{pmatrix} \quad (10)$$

- 5 [0024] Como comprenderán las personas expertas en la técnica, por un lado, el presente método no requiere que la elipse inicial sea una elipse regular, o conozca de antemano la distancia desde la cámara a la línea central.
- 10 [0025] De la misma manera, por otro lado, de acuerdo con la presente invención, usamos la información relativa a una sola imagen para calcular la homografía: específicamente, la ecuación de la elipse resultante de proyectar el círculo del mediocampo, línea del mediocampo e información complementaria sobre la imagen. Así, en relación con el artículo antes mencionado de Qihe Li y Yupin Luo ("Calibración automática de cámara para imágenes de partidos de fútbol"), el método propuesto en la presente invención explota la
- 15 información obtenida en la escena al máximo y puede calcular correctamente la homografía en el cual se basa el cálculo de los parámetros intrínsecos. Adicionalmente, el método de la presente invención es más económico desde el punto de vista del aprovechamiento de la información utilizada.
- 20 [0026] Habiendo descrito suficientemente la naturaleza de la presente invención, además de la manera de ponerla en práctica, declaramos que cualquier cosa que no altere, cambie o modifique su principio fundamental estará sujeta a variaciones de detalles.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para calibrar una cámara (10) basado en una imagen en la que un círculo (1) y al menos una línea son visibles, que comprende las etapas de:

- 5 a. Cálculo de una homografía ( $\tilde{H}$ ) que transforma la unidad circular en el círculo (2) proyectado en la imagen;
- b. Determinación completa de la homografía (H) que transforma el plano de referencia (3) en la escena (mundo real) en el plano proyectado (4) sobre la cámara (10) sobre la base de dos elementos geométricos adicionales; y
- 10 c. Cálculo basado en la homografía (H) de la distancia focal (f) y de la posición y orientación de la cámara (10) en el espacio,

**caracterizado** porque dicha homografía (H) que transforma el plano de referencia (3) en la escena en el plano proyectado (4) sobre la cámara (10) es:

15 
$$H = \tilde{H}R_{\alpha}B_{\alpha}R_{\beta}$$
  
 donde:

$$R_{\alpha} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad B_{\alpha} = \begin{pmatrix} \sqrt{1+a^2} & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 \\ a & 0 & \sqrt{1+a^2} \end{pmatrix} \quad R_{\beta} = \begin{pmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

20 y  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $a$  son parámetros ( $\alpha$  y  $\beta$  son ángulos y  $a$  es una distancia), calculados sobre la base de la información proporcionada por los citados dos elementos geométricos adicionales mencionados que son el punto del centro (7) del círculo (1) y una línea recta (5) que cruza el centro (7) del círculo (1);

siendo la distancia  $a$  y el ángulo  $\alpha$  obtenidos de la siguiente relación

$$\begin{pmatrix} a \cos \alpha \\ -a \sin \alpha \\ \sqrt{a^2+1} \end{pmatrix} = s\tilde{H}^{-1} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

25 donde (0,0) es el centro de la unidad de círculo y (x0, y0) es su proyección (8) sobre la imagen en la cámara (10);  
 y el parámetro  $\beta$  se obtiene a partir de la relación

$$R_{\beta}^T B_{\alpha}^T R_{\alpha}^T \tilde{H}^T \bar{l} = s \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

30 donde  $\bar{l}$  es dicha línea recta (5) que satisface la condición  $\bar{l}^T \bar{x} = 0$  y "s" es un factor de escala arbitrario.

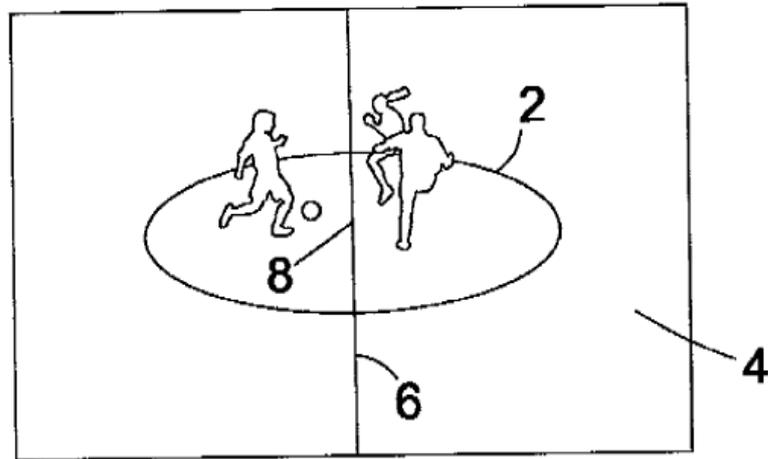


FIG. 1

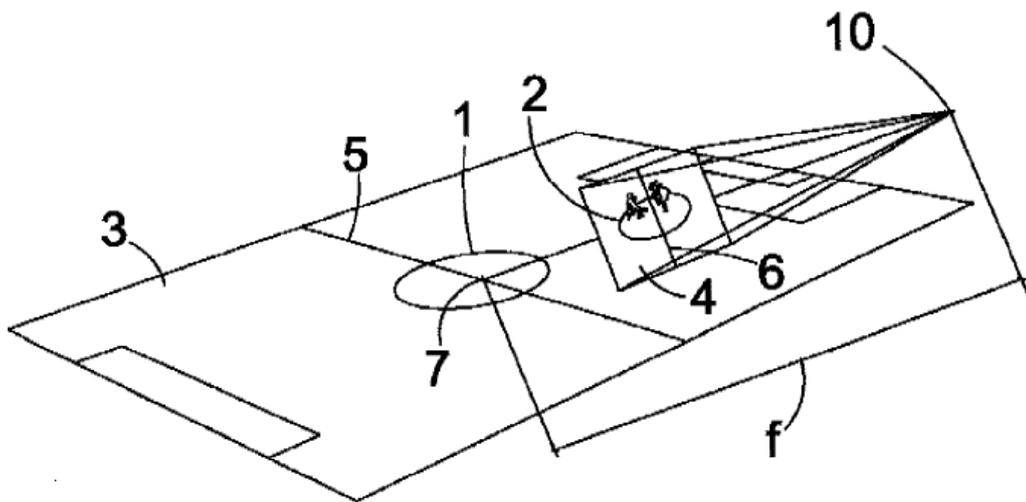


FIG. 2

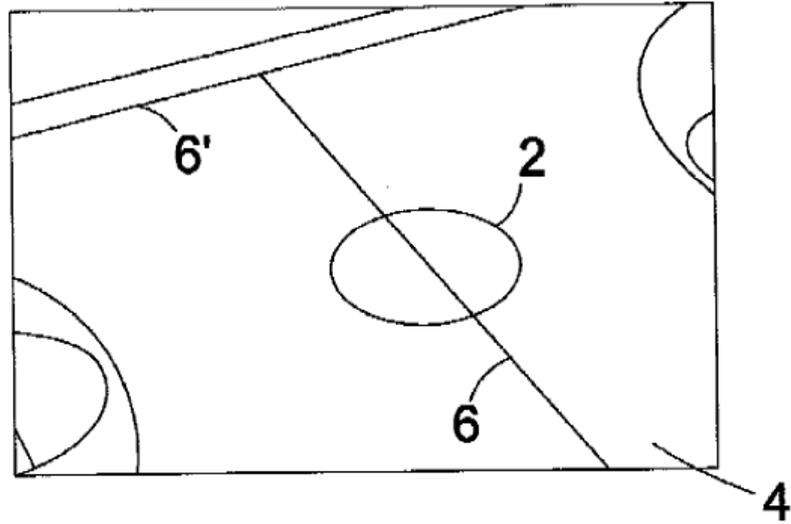


FIG. 3

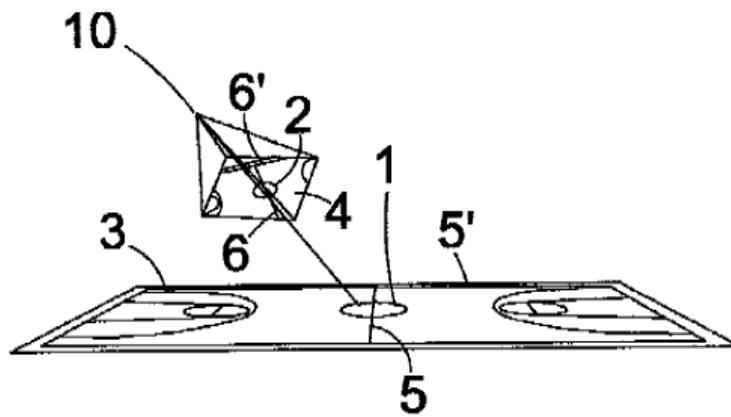


FIG. 4