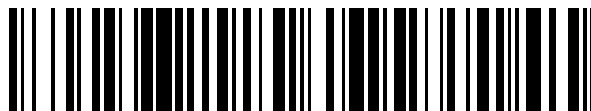


19

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 447 640**

21 Número de solicitud: 201231284

51 Int. Cl.:

G06T 1/00 (2006.01)**G06T 3/00** (2006.01)**G06T 5/40** (2006.01)**G06T 5/50** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

08.08.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

12.03.2014

Fecha de la concesión:

03.03.2015

45 Fecha de publicación de la concesión:

10.03.2015

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2013/070585

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (100.0%)
Serrano, 117
28006 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**PÉREZ ESCUDERO, Alfonso;
GARCÍA DE POLAVIEJA EMBID, Gonzalo y
ARGANDA CARRERAS, Sara**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier54 Título: **MÉTODO DE TRANSFORMACIÓN DE IMÁGENES EN NUBES DE PUNTOS DE ESPACIOS MULTIDIMENSIONALES, MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS E INDIVIDUOS, MÉTODO DE SEGMENTACIÓN, MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE INTERÉS Y USOS**

57 Resumen:

Método de transformación de imágenes en espacios multidimensionales que selecciona combinaciones de píxeles de imágenes, calcula para cada combinación de píxeles una distancia entre cada par de píxeles y una intensidad de cada píxel y genera una nube de puntos en espacios multidimensionales, mediante una asignación, a cada combinación de píxeles, de un punto en los espacios multidimensionales cuyas coordenadas corresponden con unos valores seleccionados entre las distancias, intensidades y una combinación. Además se describe un método de identificación de objetos e individuos, un método de segmentación, un método de localización de puntos de interés y usos de los mismos basados todos ellos en el método de transformación.

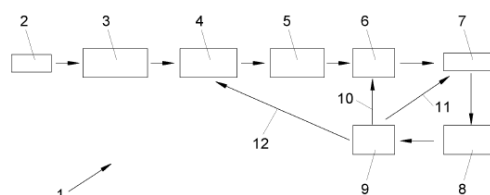


FIG. 1

ES 2 447 640 B1

DESCRIPCIÓN

MÉTODO DE TRANSFORMACIÓN DE IMÁGENES EN NUBES DE PUNTOS DE ESPACIOS MULTIDIMENSIONALES, MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS E INDIVIDUOS, MÉTODO DE SEGMENTACIÓN, MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE INTERÉS Y USOS

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención, tal y como se expresa en el enunciado de esta memoria descriptiva se refiere en primer lugar a un método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales. Además un segundo objeto de la presente invención es un método de identificación de objetos e individuos que hace uso del método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales. La
10 identificación de los objetos e individuos se realiza a partir de su aspecto, tamaño y forma, mediante la captación de imágenes de cada objeto o individuo, que puede estar en movimiento y cambiar de postura y orientación. Un tercer objeto de la presente invención es un método de segmentación de imágenes que hace uso del método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales y un cuarto objeto de la presente invención es un método de localización de puntos de interés que de igual modo hace uso del método de
15 transformación de imágenes mencionado. También se describen diversos usos de estos métodos así como el dispositivo empleado para la captura de las imágenes. Nótese que a lo largo de la presente memoria cuando se habla de espacios multidimensionales se ha englobado en ellos también los espacios unidimensionales. Nótese también que a lo largo de la presente memoria cuando se refiere indistintamente a objetos, individuos, seres humanos o escenas, se estarán englobando todos ellos.

20

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La invención aquí presentada tiene aplicación principalmente, aunque no exclusivamente, en tres campos distintos:

- Clasificación de individuos.

25

En muchas aplicaciones, es necesario asignar un individuo a una de varias clases. Por ejemplo, en un proceso industrial puede ser necesario distinguir objetos de distintos tipos (por ejemplo, distinguir botellas de latas). Otro ejemplo es la distinción de animales de distintas especies. Otro ejemplo es un sistema de visión artificial, que deba reconocer un determinado objeto (por ejemplo, coches) y distinguirlo de cualquier otro objeto (peatones,
30 señales, contenedores...). En esta tarea, el objeto a identificar no ha sido accesible previamente al sistema, y debe compararse con una base de datos de objetos parecidos.

Esta clasificación se puede realizar en ocasiones atendiendo al aspecto exterior del individuo, de modo que pueda clasificarse simplemente a partir de una o varias imágenes del mismo. Existe un gran número de métodos
35 disponibles para este tipo de clasificación, adaptados a distintas condiciones y distintos tipos de objetos, por ejemplo alineando las imágenes y comparando la forma (Belongie, Malik, Puzicha 2002, Shape Matching and

Object Recognition Using Shape Contexts), usando puntos clave (Lowe, 1999. Object recognition from local scale-invariant features), usando descriptores estadísticos de las imágenes (Prokop, Reeves 1992, A survey of moment-based techniques for unoccluded object representation and recognition), utilizando métricas de las imágenes como histogramas de color (Swain, Ballard 1991, Color Indexing) o correlogramas de color (Huang, Kumar, Mitra, Zhu, Zabih 1999, Spatial color indexing and applications), etc. El método de transformación de imágenes en nubes de puntos en espacios multidimensionales descrito en el presente documento se relaciona con los correlogramas de color, y supone una mejora, frente al estado de la técnica anteriormente mencionado, que permite una mejor utilización de la información disponible en la imagen con el mismo o menor coste computacional y de memoria.

10

Existen otros métodos más específicos a la clasificación de un tipo de objeto desde una perspectiva concreta, como por ejemplo detectores de caras humanas (Turk, Pentland, 1991, Face recognition using eigenfaces). Estas técnicas son muy específicas para zonas o patrones del objeto o individuo lo que las hace menos versátiles que el método descrito en la presente invención. En general, a mayor flexibilidad menor especificidad, es decir, los métodos son menos capaces de distinguir objetos muy parecidos.

15

- Identificación de individuos.

Una aplicación similar es la identificación de individuos. En este caso el objetivo es distinguir entre sí varios individuos concretos. Dichos individuos pueden ser muy parecidos entre sí (por ejemplo, pueden ser animales de una misma especie), y el objetivo no es clasificarlos dentro de uno de varios posibles grupos, sino identificarlos individualmente. Por ejemplo, hay experimentos científicos en el que varios individuos deben ser juntados durante un tiempo para permitir que interaccionen, pudiendo posteriormente separarlos e identificar cada uno de ellos.

20

Esta identificación se puede realizar marcando previamente a los individuos, pero esto requiere manipulación previa que en algunos casos puede resultar muy costosa. Además, en el caso de identificación de animales, puede resultar muy difícil realizar estas marcas, y pueden alterar el comportamiento posterior de los animales.

25

Existen técnicas que permiten la identificación individual sin necesidad de marcado a base de observar diferencias morfológicas entre los individuos. En muchos casos estas técnicas están limitadas por la necesidad de obtener imágenes de una parte muy concreta del individuo, para lo que es necesario controlar con precisión la posición del mismo. De nuevo, esto es especialmente complicado en el caso de la identificación de animales. Aun así, existen varios métodos que permiten distinguir individualmente algunos animales, por ejemplo tomando imágenes de la vascularización de las orejas. Estos métodos tienen el inconveniente de requerir una manipulación directa del animal (normalmente exigiendo su inmovilización parcial), y ser válidos sólo para un pequeño conjunto de especies.

30

35

Es posible realizar la identificación individual mediante fotografías del individuo, utilizando técnicas similares a las utilizadas para la clasificación de individuos. Pero estas técnicas suelen necesitar diferencias relativamente marcadas entre los distintos individuos. Por ejemplo, no hay disponible ninguna técnica capaz de distinguir entre ellos un grupo de peces cebra hermanos o de moscas *Drosophila melanogaster* hermanas. El método aquí
5 presentado resuelve este problema.

Un caso particular consiste en la identificación de seres humanos a partir de imágenes de su cara, en el que existen numerosas técnicas, como por ejemplo “eigenfaces”, que logran una buena identificación entre individuos. Estas técnicas pueden adaptarse en mayor o menor medida a identificar otro tipo de objetos y
10 animales, pero suelen tener el inconveniente de necesitar un alineamiento preciso entre las imágenes a comparar, y ser poco robustas ante deformaciones del mismo.

- Seguimiento de individuos (*tracking*).

15 En muchas aplicaciones científicas y técnicas, es necesario seguir la trayectoria de varios individuos que se mueven en una misma región. Una de las formas más extendidas para realizar este seguimiento consiste en hacerlo utilizando vídeo. Una de las mayores limitaciones de esta técnica de seguimiento es la dificultad de mantener las identidades de dos individuos después de que se crucen (ya que durante el cruce uno puede ocluir la imagen del otro, haciendo que se pierdan sus trayectorias).

20

La mayor parte de las técnicas de tracking disponibles se basan en el análisis temporal de las trayectorias de cada individuo, de modo que tras un cruce se pueda realizar la asignación más probable de acuerdo con dichas trayectorias (Kalman filtering, etc.). Otra alternativa consiste en la identificación de cada individuo, de modo que se pueda recuperar su identidad después de un cruce. En muchos casos, esta identificación requiere marcar
25 previamente a cada individuo, por ejemplo con distintos colores, para su posterior identificación. Otra opción es usar las técnicas que permiten identificar objetos diferentes, mencionadas en los apartados anteriores. Sin embargo, normalmente estas técnicas sólo funcionan bien cuando las diferencias entre individuos son relativamente grandes. Por ejemplo, normalmente no son capaces de distinguir individuos de una misma especie. Además, en el caso de animales el cambio de postura puede hacer que haya una gran variabilidad entre
30 imágenes de un mismo individuo, y muchos de estos métodos son poco robustos respecto a esta variabilidad. En concreto, en la actualidad no existe ningún método que permita seguir automáticamente varios animales (como peces, moscas o ratones) en un vídeo largo, sin cometer ningún error en los cruces (Delcourt, Denoël, Ylieff, Poncin 2012, Video multitracking of fish behavior: a synthesis and future perspectives; Branson, Robie, Bender, Perona, Dickinson 2009. High-throughput ethomics in large groups of *Drosophila*). El método aquí descrito
35 resuelve este problema.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención describe en primer lugar un método de transformación de imágenes en nubes de puntos
5 de espacios multidimensionales. Dicho método se basa en la toma de una o varias fotografías o un vídeo de
objetos o individuos que se procesan posteriormente en un ordenador, obteniendo al menos una nube de puntos
que puede ser invariante frente a rotación y traslación del objeto, y robusta frente a deformaciones y pequeños
cambios de perspectiva. Esta transformación consiste en considerar combinaciones de píxeles de la imagen, y
caracterizarlos por la distancia entre cada par de píxeles y la intensidad (o intensidades) de cada uno de ellos.
10 Así la imagen queda transformada en una nube de puntos en un espacio multidimensional. Este espacio puede
dividirse en varios espacios separados, y su dimensionalidad puede reducirse notablemente mediante
operaciones entre sus dimensiones. Esta imagen transformada se compara con una base de datos de imágenes,
identificando al objeto o individuo como uno de los contenidos en la base de datos (o como perteneciente a uno
de los grupos que figuran en ella). Los objetos pueden estar en movimiento, de modo que en el caso de animales
15 no es necesario inmovilizarlos.

Así, partiendo de al menos una imagen a transformar capturada mediante al menos un dispositivo de captación
de imágenes, el método de transformación comprende las siguientes fases:

- i) seleccionar combinaciones de al menos dos píxeles de la al menos una imagen;
- 20 ii) calcular, para cada una de las combinaciones de los al menos dos píxeles seleccionadas en la fase i), una
distancia entre cada par de píxeles y una intensidad de cada uno de los píxeles;
- iii) generar al menos una nube de puntos en al menos un espacio multidimensional, mediante una
asignación, a cada combinación de al menos dos píxeles, de un punto en al menos uno de los espacios
multidimensionales cuyas coordenadas corresponden con unos valores seleccionados entre las
25 distancias, intensidades y una combinación de ellas calculadas en la fase ii).

En ocasiones puede ser conveniente utilizar todos los pares de píxeles de la imagen o por el contrario sólo
aquéllos que cumplan cierta propiedad. Por ejemplo, cuando un objeto se deforma (un animal al cambiar de
postura), las relaciones entre píxeles lejanos tienden a cambiar mucho más que las relaciones entre píxeles
30 cercanos. En una realización particular de la invención las combinaciones de al menos dos píxeles que se
seleccionan en la fase i) del método, a su vez están seleccionadas entre:

- todas las combinaciones posibles entre los al menos dos píxeles de la imagen;
- todas las combinaciones posibles entre los al menos dos píxeles de la imagen que cumplan que las
distancias entre los al menos dos píxeles sean inferiores a un umbral; y,

- un pixel central y todas las combinaciones posibles con al menos otro pixel que se encuentre a una distancia menor a un umbral, generándose una nube de puntos en cada espacio multidimensional para cada uno de los pixeles de la imagen, calculándose así una signature de cada pixel.
- Todas las combinaciones posibles entre al menos dos pixeles de la imagen que cumplan que su distancia a un pixel central es menor que un cierto umbral, generándose una nube de puntos en cada espacio multidimensional para cada uno de los pixeles de la imagen, calculándose así una signature de cada pixel.

En otra realización particular de la invención, se somete a las imágenes a un pre-procesado para mejorar su calidad.

En otra realización particular de la invención, para imágenes cuyos pixeles contienen más de una longitud de onda, en la fase ii) del método se calcula una intensidad para cada longitud de onda del pixel. También se ha previsto en otra realización de la invención, que en lugar de calcular una intensidad para cada longitud de onda, se asigne un índice unidimensional a cada combinación posible de longitudes de onda de un mismo pixel.

La transformación de imágenes en nubes de puntos como tal no es invariante respecto a cambios de tamaño de la imagen o magnificación (producidos por ejemplo por cambios en la distancia entre el objeto y la cámara). Esta no-invariancia se manifiesta en dos aspectos: Las distancias entre pares de pixeles varían con la magnificación, y además el número de pixeles que ocupa la imagen (y por tanto el número de puntos en el espacio transformado) varía con la magnificación. En ocasiones esta no-invariancia será deseable, por facilitar la distinción entre objetos de distinto tamaño. Cuando sea mejor tener una transformación invariante a la magnificación, o por ejemplo se quiera encontrar similitud entre objetos de igual forma pero distinto tamaño, se puede conseguir aproximadamente mediante el siguiente procedimiento. En primer lugar, se deben multiplicar todas las distancias por un factor de escala. Dicho factor de escala se puede calcular de diversas maneras, tanto a partir de la imagen original como a partir de la nube de puntos obtenida. Una manera de calcularlo a partir de la transformación consiste en calcular el histograma de todas las distancias entre pares de pixeles para cada imagen, y encontrar el factor de escala que maximice la similitud de ambos histogramas. En segundo lugar, se debe controlar la diferencia entre el número de pixeles de distintas imágenes. Por ejemplo, en el caso de comparar los histogramas (multidimensionales) de la nube de puntos, basta con normalizar estos histogramas dividiéndolos por el número total de parejas de pixeles, de modo que todos sus elementos sumen uno independientemente del número de pixeles de la imagen original. Así, en otra realización particular de la invención, para solucionar el problema de la no invariancia frente a cambios de tamaño de la imagen se multiplican todas las distancias entre pixeles calculadas en la fase ii) del método por un factor de escala. Así se consigue que las distancias entre pixeles calculadas no dependan del tamaño de la al menos una imagen. Dicho factor de escala, en otra realización particular maximiza la similitud entre la nube de puntos de al menos uno de

los espacios multidimensionales de la al menos una imagen, y las nubes de puntos correspondientes de al menos otra imagen.

En ocasiones se dispone de varias fotografías del mismo objeto o individuo, tomadas simultáneamente o no desde el mismo o diferentes ángulos. En este caso, se puede procesar cada fotografía independientemente, obteniendo un conjunto de imágenes transformadas independiente para cada fotografía. Pero también se pueden combinar los resultados de las fotografías de varias cámaras, de modo que se tengan en cuenta las correlaciones entre ellos (por ejemplo, si hay dos cámaras apuntando perpendicularmente, cuando la primera vea al individuo de frente la segunda lo verá de perfil, y viceversa, de modo que las imágenes tomadas por ambas cámaras no son independientes). Así, al igual que se puede trabajar con varios espacios multidimensionales provenientes de la misma fotografía (realizando distintas operaciones sobre las dimensiones del espacio), se trabajaría con varios espacios multidimensionales, provenientes de varias fotografías distintas. Así pues, en otra realización particular de la invención, cuando se dispone de más de una imagen a transformar, la generación de nubes de puntos en espacios multidimensionales se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas entre:

- generar nubes de puntos en espacios multidimensionales diferentes e independientes para cada imagen;
- generar nubes de puntos en un mismo espacio multidimensional para varias imágenes; y,
- una combinación de las técnicas anteriores.

A su vez, en otra realización particular de la invención, cuando se emplea un mismo espacio multidimensional para varias imágenes, la generación de nubes de puntos se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas entre:

- generar una nube de puntos formada por la unión de las nubes de puntos correspondientes a cada imagen;
- generar una nube de puntos formada por la unión de las nubes de puntos correspondientes a cada imagen donde se ha añadido una dimensión adicional al espacio multidimensional con identificadores de cada imagen para que las nubes de puntos procedentes de cada imagen no se superpongan;
- generar una nube de puntos formada por la unión de las nubes de puntos correspondientes a cada imagen, donde se ha hecho una transformación previa diferente a los puntos procedentes de cada imagen obteniendo una nube de puntos no invariante ante un intercambio de dos imágenes; y,
- una combinación de las técnicas anteriores.

30

En otra realización particular de la invención, se llevan a cabo operaciones matemáticas convencionales entre las distancias y/o intensidades calculadas en la fase ii) del método de transformación. Se generan así espacios multidimensionales de igual o distinta dimensionalidad respecto a los espacios multidimensionales originales. Al reducirse la cantidad de dimensiones existentes se mejora la eficiencia del método ya que la carga computacional asociada se reduce.

35

En otra realización particular de la invención, se calcula un histograma de cada uno de los espacios multidimensionales obtenidos.

Un segundo objeto de la presente invención es un método de identificación de objetos e individuos que hace uso del método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales descrito anteriormente. Dicho método comprende las siguientes etapas:

- capturar al menos una imagen de referencia de al menos un objeto o individuo mediante un dispositivo de captación de imágenes;
- tratar la al menos una imagen de referencia mediante el método transformación de imágenes en nubes de puntos descrito anteriormente, obteniéndose al menos una nube de puntos de referencia;
- almacenar la al menos una nube de puntos de referencia en una base de datos asociándola al objeto o individuo del que proviene;
- capturar al menos una imagen de estudio de al menos un objeto o individuo mediante un dispositivo de captación de imágenes;
- tratar la al menos una imagen de estudio mediante el método transformación de imágenes en nubes de puntos descrito anteriormente, obteniendo al menos una nube de puntos de estudio;
- comparar la al menos una nube de puntos de estudio con la al menos una nube de puntos de referencia almacenada en la base de datos; y,
- identificar el objeto o individuo en base a la comparación de las nubes de puntos de estudio y referencia.

20

En una realización particular de la invención, tras las fases de captura de la al menos una imagen de referencia y la al menos una imagen de estudio se lleva a cabo una fase de segmentación de la al menos una imagen de referencia y de la al menos una imagen de estudio identificando unos píxeles que se corresponden al objeto o individuo. Además esta segmentación de la imagen puede corresponder a una imagen completa o parcial del objeto o individuo.

25

En otra realización particular de la invención, tras la captura de la al menos una imagen de referencia de al menos un objeto o individuo, el método comprende las siguientes etapas:

- calcular una signatura de referencia de al menos un píxel de la al menos una imagen de referencia;
- almacenar la al menos una signatura de referencia de cada uno de los píxeles en una base de datos asociándola al objeto o individuo del que proviene;

30

y tras la captura de la al menos una imagen de estudio de al menos un objeto o individuo, comprende las siguientes etapas:

- calcular una signatura de estudio de al menos un píxel de la al menos una imagen de estudio;
- comparar la signatura de estudio con las signaturas de referencia; y,

35

- identificar el objeto o individuo de la al menos una imagen de estudio en base a la comparación de las firmas de estudio y referencia.

Esta última etapa de identificación del objeto o individuo de la al menos una imagen de estudio, en otra
5 realización particular se realiza de un modo seleccionado entre:

- escogiendo un píxel de la al menos una imagen de referencia como píxel de referencia y buscando los píxeles de la al menos una imagen de estudio cuya firma es más parecida a la de cada uno de los píxeles de referencia de la al menos una imagen de referencia; y,
- seleccionando un píxel de la al menos una imagen de estudio como píxel de referencia y buscando los píxeles
10 de la al menos una imagen de referencia cuya firma es más parecida a la de cada uno de los píxeles de referencia de la al menos una imagen de estudio.

En otra realización particular de la invención, para cada nueva imagen adquirida se escogen como píxeles de referencia aquellos cuya firma sea más parecida a las de los píxeles de referencia de imágenes adquiridas previamente.

15

En otra realización particular de la invención, para automatizar la elección de los píxeles de referencia, y a la vez maximizar el potencial discriminador del método, los píxeles de referencia se escogen mediante las siguientes fases:

- adquirir varias imágenes de cada uno de los objetos o individuos que van a formar parte de la base de datos;
- 20 - calcular la firma de al menos uno de los píxeles de cada imagen;
- buscar un píxel de cada imagen cuya firma se parezca más a la de un píxel inicial de una de las imágenes;
- calcular una variabilidad de las firmas de los píxeles escogidos entre imágenes del mismo objeto o individuo, y entre imágenes de distintos objetos o individuos;
- repetir las dos fases anteriores para varios píxeles iniciales distintos; y,
- 25 - escoger como píxeles de referencia aquellos cuyas firmas tengan mayor variabilidad entre objetos o individuos, con respecto a la variabilidad dentro de cada objeto o individuo.

En otra realización particular de la invención, la al menos una imagen de referencia y la al menos una imagen de estudio se extraen de un mismo video.

30

En otra realización particular de la invención, la fase de comparación de la al menos una nube de puntos de estudio con la al menos una nube de puntos de referencia se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas entre:

- calcular una distancia entre un punto de la al menos una nube de puntos de referencia y el punto más
35 cercano de la al menos una nube de puntos de estudio;

- calcular un primer histograma de la al menos una nube de puntos de referencia y un segundo histograma de la al menos una nube de puntos de estudio y comparar ambos histogramas;
- calcular un primer histograma de la al menos una nube de puntos de referencia y un segundo histograma de la al menos una nube de puntos de estudio y comparar ambos histogramas previamente normalizados; y,
- 5 - calcular un primer histograma de la al menos una nube de puntos de referencia y un segundo histograma de la al menos una nube de puntos de estudio y comparar ambos histogramas previamente suavizados mediante filtros.

En otra realización particular de la invención, cuando hay más de una imagen de referencia, para cada imagen
10 de estudio la comparación con las imágenes de referencia se realiza mediante una técnica seleccionada entre:

- calcular las diferencias entre los espacios multidimensionales de cada imagen de referencia de cada objeto o individuo y los de la imagen de estudio, y calcular un promedio para cada objeto o individuo;
- calcular un espacio promedio de los espacios multidimensionales para todas las imágenes de referencia de cada objeto o individuo, y calcular la diferencia entre el espacio promedio y el espacio de la imagen de estudio; y,
- 15 - calcular la diferencia entre el espacio multidimensional de cada imagen de referencia de cada objeto o individuo y la imagen de estudio y escoger, para cada objeto, al menos una de las menores diferencias con la imagen de estudio.

En otra realización particular de la invención, la fase de identificación de la imagen de estudio se realiza
20 mediante una técnica seleccionada entre:

- escoger el objeto o individuo de la base de datos cuyas imágenes de referencia asociadas sean más parecidas a la imagen de estudio;
- escoger el objeto o individuo de la base de datos cuyas diferencias respecto a la imagen de estudio estén por debajo de un umbral; y,
- 25 - calcular la probabilidad de que la imagen de estudio se corresponda con cada uno de los objetos o individuos de la base de datos, en base a un conjunto de parámetros seleccionado entre las diferencias entre la imagen de estudio y las imágenes de referencias, las diferencias entre las imágenes de referencia, y las diferencias entre otras imágenes de objetos o individuos similares.

30 En otra realización particular de la invención, cuando se dispone más de una imagen del objeto o individuo, la fase de identificación se realiza mediante una técnica seleccionada entre:

- escoger el objeto o individuo de la base de datos más parecido al objeto o individuo de estudio, en función de las diferencias entre las imágenes de estudio y las imágenes de referencia.
- calcular la probabilidad de que el objeto o individuo de estudio corresponda con cada uno de los almacenados
35 en la base de datos, acumulando la evidencia suministrada por todas las imágenes de estudio. Esta probabilidad

se calcula o bien suponiendo que las imágenes son independientes o bien teniendo en cuenta una redundancia de información entre imágenes similares.

En otra realización particular de la invención cuando se dispone de imágenes de estudio de varios objetos o individuos distintos, y una serie de relaciones lógicas entre ellos que describan la posibilidad o imposibilidad de que dos grupos de imágenes de estudio pertenezcan a un mismo o a distintos objetos o individuos, el método descrito comprende calcular una probabilidad de cada conjunto de identificaciones simultáneas de varios individuos de estudio, de forma que la identificación de cada objeto o individuo suministra información acerca de la identificación de otros objetos o individuos. En otra realización particular de la invención esta probabilidad se obtiene o bien mediante el cálculo de la probabilidad de todas las posibles identificaciones de objetos o individuos entre imágenes de referencia e imágenes de estudio, teniendo en cuenta las probabilidades de identificación de cada individuo en base a sus imágenes, y las relaciones lógicas entre individuos problema, o bien mediante el cálculo de la probabilidad de identificación de cada individuo problema por separado, pero teniendo en cuenta las relaciones lógicas con otros individuos problema, además de las probabilidades de identificación en base a sus imágenes.

En otra realización particular de la invención, la identificación se realiza escogiendo el objeto o individuo con mejor probabilidad de identificación. Posteriormente se actualizan las probabilidades del resto de los objetos o individuos teniendo en cuenta que el objeto o individuo identificado es inamovible. Este proceso se repite hasta que todos los individuos se hayan identificado.

Un tercer objeto de la presente invención es un método de segmentación de imágenes que hace uso del método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales descrito anteriormente. Dicho método de segmentación caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

- Calcular la signature de cada pixel de la imagen según el método descrito en la reivindicación 2; y,
- Seleccionar los pixeles de la imagen de estudio cuya signature sea más parecida a las de los pixeles de otras imágenes del objeto o individuo.

Un cuarto objeto de la presente invención es un método de localización de puntos de interés en una imagen que hace uso del método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales descrito anteriormente. Dicho método comprende las siguientes etapas:

- Calcular la signature de cada pixel de la imagen tal y como se describe en la reivindicación 2; y,
- Seleccionar el pixel de la imagen problema cuya signature más se parezca a la signature del pixel correspondiente al punto de interés de otras imágenes.

35

Un quinto objeto de la presente invención es el uso del método de identificación de objetos e individuos descrito anteriormente para el reconocimiento, clasificación y seguimiento de objetos e individuos.

Un sexto objeto de la presente invención es el uso del método de identificación de objetos e individuos descrito
5 anteriormente combinándolo con técnicas de seguimiento convencional.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1.- Muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales objeto de la presente invención.

10

Figura 2.- Muestra un diagrama de flujo de de un ejemplo de realización del método de identificación o clasificación de una imagen que hace uso del método mostrado en la figura 1.

Figura 3.- Muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de identificación o clasificación
15 de un individuo a partir de varias imágenes, que hace uso del método mostrado en la figura 1.

Figura 4.- Muestra un diagrama de flujo de de un ejemplo de realización de un método de identificación de varios individuos, que hace uso del método presentado en la figura 3.

20 Figura 5.- Muestra un diagrama de flujo de de un ejemplo de realización de un método de seguimiento de varios individuos en un grupo, que hace uso de los métodos presentados en las figuras 1, 2, 3 y 4.

Figura 6.- Muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización de un método de cálculo de firmas de píxeles de una imagen, que hace uso de parte del método mostrado en la figura 1.

25

Figura 7.- Muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de búsqueda de puntos de interés que hace uso del método mostrado en la figura 6.

Figura 8.- Muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de identificación o clasificación
30 de imágenes a partir de firmas de píxeles, que hace uso de los métodos presentados en las figuras 6 y 7.

Figura 9.- Muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de segmentación, que hace uso de los métodos presentados en las figuras 1, 2 y 6.

35

DESCRIPCIÓN DE VARIOS EJEMPLOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

Seguidamente se realizan, con carácter ilustrativo y no limitativo, una descripción de varios ejemplos de realización de la invención, haciendo referencia a la numeración adoptada en las figuras.

La figura 1 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de transformación (1) de imágenes en nubes de puntos multidimensionales aquí descrito. Dada una imagen (2), se transforma la imagen de modo que se obtenga un objeto invariante frente a rotaciones y traslaciones. El método aquí propuesto consiste en transformar la imagen de forma que cada posible par de píxeles seleccionado (3) se corresponde con un punto en un espacio multidimensional. Así, para cada par de píxeles de una imagen en escala de grises se calcula (4) la distancia entre ellos (d), la intensidad del primer píxel ($i1$) y la intensidad del segundo píxel ($i2$). Por tanto, en este caso cada par de píxeles se corresponde con un punto en un espacio tridimensional, cuyas dimensiones son ($d, i1, i2$). Cada imagen quedaría así transformada en una nube de puntos en este espacio tridimensional. Para calcular distancias entre píxeles (d) se puede usar la métrica euclídea (L_2) o cualquier otra métrica (por ejemplo, L_1 o L_∞). En el caso de imágenes en color (o en general imágenes que contienen información de varias longitudes de onda), cada píxel tiene varias intensidades, una por cada longitud de onda (por ejemplo, 3 en el caso de imágenes en color con codificación RGB). Así, para el caso de una imagen RGB, cada par de píxeles de la imagen se corresponde con un espacio de 7 dimensiones, que son ($d, ir1, ir2, ig1, ig2, ib1, ib2$), donde "ir" es la intensidad del canal rojo, "ig" la intensidad del canal verde e "ib" la intensidad del canal azul. Otra alternativa es indexar los colores, de modo que a cada combinación de los tres canales se le asigna un índice unidimensional. De esta manera una imagen en color se codifica en un espacio tridimensional, pero a costa de perder información acerca de la similitud entre distintos colores.

A menudo será conveniente reducir la dimensionalidad del espacio en el que se transforma la imagen, para reducir la cantidad de cálculo necesario, o para hacer mejor uso de la información disponible. Esta reducción de dimensionalidad se puede realizar por ejemplo teniendo en cuenta sólo parte de las dimensiones del espacio. Por ejemplo, se pueden utilizar sólo las distancias entre los píxeles, descartando la información sobre su intensidad. En el caso particular de utilizar sólo la intensidad de los píxeles (una de ellas, ya que la información sería redundante) y hacer un histograma de dichas intensidades, se obtendría el histograma de color de la imagen. Otra alternativa es mantener todas las dimensiones, pero reducir mucho el rango dinámico de una o varias de ellas, de modo que exija menos memoria (por ejemplo, considerando únicamente un conjunto muy pequeño de distancias entre píxeles). Este método tiene el inconveniente de que en algunos casos descarta información valiosa de la imagen. Una forma más eficiente de reducir la dimensionalidad consiste en realizar operaciones matemáticas entre las distancias e intensidades (5) previamente calculadas. Por ejemplo, en imágenes en color se puede tener en cuenta, en vez de la intensidad de cada canal de color por separado, la suma de todos ellos (lo cual equivale a convertir la imagen en color en una imagen en escala de grises). También se puede considerar, en vez de la intensidad de cada píxel, la suma (o cualquier otra operación) de ambas intensidades, o también operaciones entre las intensidades y la distancia. Cada operación que se considere

modifica la información disponible de manera distinta, por lo que puede ser conveniente utilizar varias operaciones simultáneamente. Además, la elección de operaciones óptimas puede depender de la aplicación concreta del método. Este método permite hacer uso de la información contenida en todas las dimensiones del espacio, reduciendo en gran medida la cantidad de cálculo y memoria necesaria.

5

En general es más fácil trabajar con varios espacios de baja dimensionalidad (por ejemplo 2 ó 3 dimensiones) que con uno de alta dimensionalidad. Por ello, puede ser conveniente considerar al mismo tiempo varias transformaciones de la imagen, que la envíen a varios espacios distintos de baja dimensionalidad. Por ejemplo, puede ser conveniente utilizar varias operaciones entre las intensidades, para tener varios espacios de 2
10 dimensiones en vez de uno de 3. Por ejemplo, si se considera la suma y el valor absoluto de la resta, la imagen quedaría transformada en dos nubes de puntos (6) en los espacios $(d, i1+i2)$ y $(d, |i1-i2|)$.

Este método puede generalizarse para tener en cuenta, no sólo distancias entre pares de pixels, sino distancias entre tríos, cuartetos, etc. Así, por ejemplo, si se consideran tríos en una imagen en escala de grises, la imagen
15 quedaría transformada en una nube de puntos en un espacio de 6 dimensiones, que sería $(d12, d23, d13, i1, i2, i3)$, donde “ $d12, d23, d13$ ” son las distancia entre los pixeles 1 y 2, los pixeles 2 y 3 y los pixeles 1 y 3 de cada trío, respectivamente.

Así, tras realizar las operaciones matemáticas (5) sobre las distancias e intensidades calculadas previamente se
20 crean las correspondientes nubes de puntos (6). En ocasiones será más conveniente trabajar con histogramas de las nubes de puntos (7) en vez de con las nubes directamente. Estos histogramas pueden estar normalizados. En algunas aplicaciones puede ser conveniente que la transformación sea invariante respecto a cambios de escala de la imagen. Para lograr dicha invariancia, se puede seguir el siguiente procedimiento. En primer lugar, los histogramas (7) deben estar normalizados, para controlar el distinto número de pixeles ocupado por la
25 imagen cuando la magnificación es distinta. En segundo lugar, se deben re-escalar las distancias, multiplicándolas por un factor de escala que compense el cambio de magnificación. Para calcular este factor de escala, se pueden comparar (8) uno o varios de los histogramas de la imagen con uno o varios histogramas de otras imágenes del mismo objeto tomadas con la magnificación que se quiere usar como referencia. Se busca entonces el factor de escala (9) que minimice la diferencia con dichos histogramas de referencia. Esta diferencia
30 puede calcularse, por ejemplo, como el promedio del valor absoluto de las diferencias de los elementos de los histogramas de la imagen problema y los histogramas de referencia. Otra alternativa es calcular, por ejemplo, la mediana de todas las distancias entre pares de pixeles de la imagen problema, y compararlo con la mediana de las distancias entre pares de pixeles de la imagen de referencia. Una vez calculado el factor de escala, a veces se puede directamente re-escalar (10) las nubes de puntos (6) y/o re-escalar (11) los histogramas (7). Pero otras
35 veces la pérdida de información debida a las operaciones matemáticas y/o a la binarización de los datos al hacer un histograma hace que el re-escalado del histograma no sea equivalente al re-escalado de las distancias. Por

ello, puede ser conveniente multiplicar por el factor de escala las distancias originales (12), y repetir de nuevo el proceso de operaciones matemáticas (5), generación de las nubes de puntos (6) y cálculo de los histogramas (7). La figura 2 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de la aplicación del método a la identificación o clasificación de una imagen. El primer paso es realizar la transformación de la imagen problema tal y como se ha

5 descrito anteriormente (1), de modo que se convierta en dos nubes de puntos en espacios bidimensionales, uno del espacio $(d, |i_1+i_2|)$ y el otro del espacio $(d, |i_1-i_2|)$, o sus correspondientes histogramas. Se dispone además de una base de datos (14) que consiste en fotografías de cada uno de los individuos a identificar (o de individuos de cada una de las clases en las que se quiere clasificar al individuo problema), previamente transformadas de la misma manera que la imagen problema (1). La base de datos puede contener una o más fotografías de cada

10 individuo o clase. Especialmente en el caso de animales, cuyo movimiento y cambio de postura puede ser considerable, puede ser necesario que la base de datos contenga un alto número de fotografías de cada individuo o clase, para que contenga suficiente información acerca de la variabilidad entre las imágenes. A continuación se compara (15) cada una de las nubes de puntos o histogramas de la imagen problema con la correspondiente nube de puntos o histograma de cada una de las imágenes de la base de datos. La

15 comparación se facilita por el hecho de que estas nubes de puntos son invariantes respecto a una rotación y/o una traslación de la imagen, eliminando así el problema del alineamiento. La comparación puede realizarse de muchas maneras distintas, y la manera óptima dependerá en general de la aplicación. Para comparar directamente las nubes de puntos, se puede por ejemplo buscar la distancia entre cada punto de una imagen y el punto más cercano de la otra. La suma de estas distancias será siempre cero para dos imágenes idénticas, y

20 será en promedio mayor cuanto más diferentes sean las imágenes. Si lo que se comparan son los histogramas de las nubes de puntos la comparación puede hacerse, por ejemplo, restando los histogramas elemento a elemento, y calculando el promedio de los valores absolutos de las diferencias. En ocasiones puede ser conveniente preprocesar los histogramas, por ejemplo suavizándolos mediante un filtro (gaussiano o de otro tipo). También se pueden tener en cuenta métricas más complejas que tengan en cuenta la distancia entre los distintos

25 elementos de un histograma. Estos histogramas tienen típicamente miles de elementos. Se pueden usar técnicas como "Análisis de Componentes Principales" para encontrar combinaciones de dichos elementos que contengan la máxima información posible, reduciendo así la cantidad de cálculo necesaria para realizar las comparaciones, y en ocasiones reduciendo también la variabilidad. Esta comparación proporciona una métrica (que puede ser multidimensional) en cuanto a la similitud de cada fotografía del individuo problema y cada fotografía de cada una

30 de las referencias, de modo que cuanto más cercana sea una referencia a la imagen problema más probable será que el individuo problema coincida con el de la referencia. Este conjunto de diferencias (16) entre las imágenes de la base de datos y la imagen problema permitirá realizar la identificación o clasificación. Se pueden emplear todas las diferencias, pero habitualmente será conveniente preprocesarlas, por ejemplo calculando el promedio de las diferencias entre la imagen problema y las imágenes de cada uno de los individuos o clases de

35 la base de datos. Otra alternativa es elegir únicamente la menor de las diferencias entre la imagen problema y las imágenes de cada uno de los individuos o clases de la base de datos. Este último procedimiento tiene la

ventaja de eliminar en cierta medida la variabilidad debida a cambios de postura y perspectiva del individuo que se desea identificar. Para tener una referencia de las diferencias que cabe esperar entre imágenes del mismo individuo o clase y entre imágenes de distintos individuos o clases, se pueden comparar las imágenes de las referencias entre ellas (17), de modo que se obtenga una estadística de sus diferencias (18). En ocasiones esta estadística será realmente representativa de los errores que cabe esperar en las imágenes problema, pero si las imágenes de la base de datos no se han tomado en idénticas condiciones que las imágenes problema y/o no son realmente independientes entre sí, sólo servirán como una guía cualitativa o semicuantitativa para valorar las diferencias (16) observadas entre la imagen problema y las imágenes de la base de datos. A partir de las diferencias (16) y la estadística de diferencias (18) se calcula la probabilidad (20) de obtener la imagen problema a partir de cada uno de los individuos o clases de la base de datos. Esta probabilidad se puede calcular de muchas maneras. Si la estadística de diferencias (18) es realmente representativa, la probabilidad se puede aproximar simplemente calculando un histograma de las diferencias (18) entre imágenes distintas del mismo individuo o clase, y tomando la proporción correspondiente al bin en el que caiga la diferencia correspondiente de la imagen problema (16). Alternativamente se pueden aproximar las diferencias entre imágenes de la base de datos (18) mediante distribuciones de probabilidad analíticas, y calcular la probabilidad de que las distribuciones correspondientes a cada individuo o clase produzcan las diferencias (16) de la imagen problema. Alternativamente se puede hacer una estimación más grosera que no requiere que las diferencias (18) sean completamente representativas. En este caso la identificación se realiza escogiendo el individuo o clase de la base de datos cuyas diferencias con la imagen problema sean menores. A este individuo o clase se le asigna una cierta probabilidad de acierto b , y para todos los demás la probabilidad será $(1-b)/(R-1)$, donde R es el número de individuos o clases incluidos en la base de datos. b puede ser un número fijo establecido previamente, o puede variarse comparando la magnitud de las diferencias (16) con la magnitud de las diferencias (18). Cuanto más parecidas sean las diferencias (16) al rango inferior de las diferencias (18), mayor será b . Además, cuando cada imagen se transforme en más de un espacio multidimensional, se dispondrá de al menos una diferencia por cada espacio. Se puede entonces realizar la identificación por separado con cada espacio. Cuanto mayor sea la coincidencia entre las identificaciones realizadas con cada espacio, mayor será b . Finalmente, se puede dar una identidad (21) a la imagen problema, escogiendo aquella que tenga mayor probabilidad. En este proceso es posible incluir la posibilidad de que la imagen problema no se corresponda con ninguno de los individuos o clases de la base de datos. En aquéllos casos en los que las diferencias (16) entre la imagen problema y las de la base de datos sean mayores que las diferencias (18) entre imágenes de la base de datos, la imagen problema se clasificará como no perteneciente a ninguno de los individuos o clases de la base de datos.

La figura 3 muestra un diagrama de flujo de una aplicación concreta del método para la identificación de individuos (22). En un primer paso, se adquiere un cierto número de fotografías (23) de cada uno de los individuos por separado, que servirán para nutrir la base de datos que se empleará como referencia para la

identificación. Pueden ser fotografías individuales, o un vídeo. A continuación estas imágenes se pre-procesan (24) para mejorar su calidad. Por ejemplo, puede ser necesario normalizar la intensidad de la imagen para controlar fluctuaciones de la iluminación, eliminar partes de la imagen no deseadas, o utilizar un filtro para mejorar la calidad (filtros gaussianos para reducir ruido, etc.). A continuación se realiza la segmentación de la imagen (25), seleccionando sólo los pixels correspondientes al individuo que se quiere identificar. Esta segmentación se puede realizar utilizando cualquiera de los métodos convencionales (umbralización, background subtraction, etc.), o mediante el método (figura 9) propuesto en esta patente. Si las fotografías forman parte de un vídeo y los individuos están en movimiento, este movimiento se puede utilizar para facilitar la segmentación (utilizando técnicas como "flujo óptico", etc.). En ocasiones es conveniente realizar el preproceso (24) y la segmentación (25) al mismo tiempo que la adquisición de imágenes (23). De esta manera se puede, por ejemplo, regular la adquisición de imágenes (23) de modo que no se adquiera una nueva imagen hasta que se observe un cambio significativo respecto a la anterior, de modo que cada imagen contenga información diferente a la anterior. A continuación se realiza la transformación de la imagen segmentada, tal y como se ha descrito anteriormente (1). Finalmente, se almacenan las imágenes transformadas en una base de datos (14). Una vez creada la base de datos, se adquieren de la misma manera fotografías (26) del individuo problema. Se preprocesan (24), segmentan (25) y transforman (1) de manera idéntica a las imágenes de la base de datos. A continuación, se comparan (13) la imagen problema con las almacenadas en la base de datos de la manera detallada en la figura 2, obteniéndose las probabilidades de identificación de cada imagen (20).

A continuación, se agrega la información de las identificaciones de las imágenes individuales (20). Esta agregación (27) consiste en calcular la probabilidad (28) de que el individuo problema sea cada uno de los individuos de la base de datos, teniendo en cuenta las identificaciones de todas las imágenes disponibles. Para ello se puede utilizar, por ejemplo, el siguiente procedimiento. Sea N el número total de imágenes del individuo problema, sea $p_{n,r}$ la probabilidad (20) de que el r -ésimo individuo o clase de la base de datos genere la n -ésima imagen problema, $p_{n,r} = P(\text{imagen } n | \text{individuo } r)$. Se supone además que no hay información redundante entre las imágenes, y que por tanto la probabilidad de identificación de cada imagen es independiente de la del resto. Bajo estas hipótesis, la probabilidad de que el r -ésimo individuo o clase de la base de datos genere todas las imágenes problema es simplemente,

$$P(\text{imágenes problema} | \text{individuo } r) = \prod_{n=1}^N p_{n,r}, \quad (a)$$

donde N es el número de imágenes problema.

Mediante el teorema de Bayes, y suponiendo que todos los individuos son igualmente probables a priori, a partir de la ecuación (a) se calcula la probabilidad de que el individuo problema sea cada uno de los individuos de la

base de datos. Así, la probabilidad de que el individuo problema sea el individuo r^* -ésimo de la base de datos es

$$P(\text{individuo } r^* | \text{imágenes problema}) = \frac{\prod_{n=1}^N p_{n,r^*}}{\sum_{r=1}^R \prod_{n=1}^N p_{n,r}} \quad (b)$$

5 Mediante la ecuación (b) se calcula la probabilidad (28) para cada uno de los individuos de la referencia, efectuándose la identificación (29) cuando uno de los individuos tiene una probabilidad mucho más alta que el resto. Si la identificación no puede realizarse con suficiente certeza, se pueden adquirir más imágenes (26) del individuo problema para incrementar la certeza (28) y en consecuencia favorecer la identificación del individuo (29).

10

La figura 4 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización de un método de identificación simultánea de varios individuos (30) que hace uso de parte del método (22) descrito en la figura 3. El proceso es idéntico hasta el punto en que se obtienen las probabilidades de identificación de las imágenes individuales (20), solo que en este caso las imágenes proceden de varios individuos problema diferentes. Cuando se identifican varios
 15 individuos al mismo tiempo se dispone de información adicional, dado que no puede ocurrir que dos de los individuos problema se correspondan con el mismo individuo de la base de datos. En este caso se busca una asignación, entendiendo por asignación la identificación simultánea de todos los individuos. Una asignación se puede expresar como un vector con tantos elementos como individuos problema. El elemento q -ésimo es un número natural, indicando cuál de los individuos de las referencias se identifica con el q -ésimo individuo
 20 problema. Por ejemplo, si hay 4 individuos en la base de datos y 3 individuos problema, una posible asignación sería (1,4,3), indicando que el primer individuo problema es el primer individuo de la base de datos, el segundo individuo problema es el cuarto individuo de la base de datos, y el tercer individuo problema es el tercer individuo de la base de datos. En general, si hay Q individuos problema y R individuos en la base de datos, cada asignación es un vector $\vec{a} = (a_1, a_2, \dots, a_Q)$, donde los a_1, a_2, \dots, a_Q pueden tener cualquier valor entre
 25 1 y R , apareciendo cada valor como máximo una vez. Existen $R!/(R-Q)!$ posibles asignaciones. La probabilidad de cada asignación (32) se puede calcular mediante el siguiente proceso (31). Sea $\{\vec{a}_l\}_{l=1}^{R!/(R-Q)!}$ el conjunto de todas las posibles asignaciones, siendo \vec{a}_l la l -ésima asignación. Sea N_q el número de imágenes del q -ésimo individuo problema, sean las probabilidades de que cada uno de los individuos de la base de datos genere cada una de las imágenes del q -ésimo individuo. Suponiendo que la asignación correcta es \vec{a} , la
 30 probabilidad de obtener el conjunto de imágenes de los individuos problema, asumiendo que las imágenes son independientes entre sí, es

$$P(imágenes|\vec{a}) = \prod_{q=1}^Q \left(\prod_{n=1}^{N_q} p_{q,n,a_q} \right) \quad (c)$$

Y mediante el teorema de Bayes, se tiene que la probabilidad de una asignación determinada, \vec{a} , será,

$$P(\vec{a} | imágenes) = \frac{P(imágenes | \vec{a})}{\sum_{l=1}^{R/(R-Q)!} P(imágenes | \vec{a}_l)} \quad (d)$$

5 Así se calcula la probabilidad de todas las asignaciones posibles utilizando la ecuación (d) (32). La asignación elegida es la que mayor probabilidad tiene (33), y la probabilidad de error es igual a la suma de las probabilidades de todas las demás asignaciones.

10 Cuando la probabilidad de error está por debajo de un cierto umbral, la asignación se considera correcta. En caso contrario, la asignación es dudosa y puede mejorarse adquiriendo más fotogramas de uno o varios individuos. Mediante la ecuación (b) se calcula la certeza de la identificación de cada individuo por separado (28), y pedirá al usuario que adquiriera más fotogramas (26) de los individuos identificados con menor certeza, y/o de los individuos cuyas identificaciones sean incompatibles entre sí (por ejemplo, si dos individuos problema son asociados con el mismo individuo de las referencias).

15

La figura 5 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo particular del método de seguimiento (34) basado en el método de transformación (1) de imágenes de la figura 1. En primer lugar se adquiere un vídeo de los individuos (35). A continuación se pre-procesan (36) cada uno de los histogramas, por ejemplo recortando la región de interés que muestra el recinto en el que se mueven los animales, normalizando cada fotograma para compensar fluctuaciones de la iluminación, y reduciendo la resolución de las imágenes para reducir el tiempo de cálculo.

20 La segmentación (37) se puede realizar con cualquier método convencional de segmentación, o con el método presentado en esta patente. En este caso, a diferencia de los ejemplos anteriores, en cada fotograma hay varios individuos, que saldrán por separado de la segmentación. En algunos casos habrá dos o más individuos que se superpongan en la imagen. En este caso la segmentación no podrá separarlos, con lo que saldrán juntos y tendrán que ser tratados de manera diferente en un paso posterior. En cualquier caso, de cada fotograma saldrán una o o varias imágenes segmentadas. A continuación se realiza la transformación (1) de cada imagen segmentada, obteniéndose las nubes de puntos y/o histogramas correspondientes.

30 A continuación se asocian las imágenes segmentadas que pertenecen con alta certeza al mismo individuo o grupo de individuos solapantes (38). De ahora en adelante se denominará "tramo" a un conjunto de imágenes segmentadas, pertenecientes a fotogramas consecutivos, que pertenecen al mismo individuo (o grupo de individuos solapantes). Esto es posible por ejemplo cuando un individuo se mueve sin cruzarse con nadie

durante cierto tiempo. El criterio elegido es que dos imágenes segmentadas de dos fotogramas contiguos pertenecen al mismo tramo si y sólo si solapan una con la otra, y no solapan con ninguna otra mancha.

A continuación se buscan grupos de tramos (39) que pertenezcan cada uno a un individuo distinto. Para ello, se
5 buscan los fotogramas en los que hay el mismo número de imágenes segmentadas que individuos (el número real de individuos (R) es introducido por el usuario). Así, supondremos que un grupo de R tramos que conviven en un cierto número mínimo de fotogramas pertenecerán cada uno a uno de los R individuos. De ahora en adelante, se denominará “grupo de tramos” a cada uno de estos grupos de R tramos. A partir de estos grupos de tramos se formará la base de datos (14) que se empleará para realizar las identificaciones. En
10 principio uno sólo de estos grupos podría usarse como base de datos, pero habitualmente no contiene un número suficiente de imágenes de cada individuo. Así pues, es necesario juntar varios grupos de tramos para formar la base de datos. Para ello se empleará el método de asignación de varios individuos (30) de la siguiente manera. Para cada dos grupos, se utiliza uno de ellos (normalmente el que mayor número de imágenes contiene) como si fuera la base de datos, y el otro como si fuera el conjunto de imágenes problema, calculándose
15 la probabilidad de cada asignación (32), y la asignación más probable (33). A continuación se comparan (40) las asignaciones entre grupos, comprobando que sean consistentes (es decir, que si por ejemplo el tramo 1 del grupo 1 se asigna con el tramo 1 del grupo 2, y el tramo 1 del grupo 2 se asigna con el tramo 4 del grupo 3, también el tramo 1 del grupo 1 se asigne con el tramo 4 del grupo 3). Se escogen entonces los grupos de tramos que pueden asignarse entre sí con alta certeza y de manera consistente, y se juntan para formar la base de
20 datos (14).

A continuación se procede a identificar y clasificar todas las imágenes segmentadas de los tramos (38), utilizando el método (13). Así pues, cada imagen puede ser clasificada (21) como no perteneciente a ninguno de los individuos de la base de datos (en cuyo caso se clasifica como ruido, o bien como una imagen que contiene a
25 varios individuos solapantes), o como perteneciente a uno de los individuos de la base de datos. En este último caso, además se obtiene una probabilidad (20) de que esa imagen provenga de cada uno de los individuos de la base de datos.

Mediante la clasificación de imágenes segmentadas (21) se clasifican los tramos (38). Aquéllos que tienen
30 mayoritariamente imágenes clasificadas como ruido o individuos múltiples se descartan de cara a la identificación. El resto de los tramos, que corresponden a un solo individuo (41), se utilizarán para la identificación.

Finalmente, se procede a la asignación de cada uno de los tramos individuales. Para dicha asignación se tienen
35 también en cuenta una serie de relaciones lógicas entre tramos (42). Estas relaciones contienen la posibilidad o imposibilidad de que dos tramos pertenezcan o no al mismo individuo. Estas relaciones se almacenan en una

matriz binaria C de dimensión $Q \times Q$, donde Q es el número de tramos. Para cada par de tramos, la matriz indica si los dos tramos pueden o no pueden pertenecer al mismo individuo, de modo que el elemento $C_{q,q'}$ vale 1 si las relaciones lógicas prohíben que los tramos q y q' pertenezcan al mismo individuo, y vale 0 si no lo prohíben. En este caso, se asume que dos tramos no pueden pertenecer al mismo individuo si ambos aparecen
5 simultáneamente en al menos un fotograma.

El conjunto de todas las posibles asignaciones compatibles con las relaciones lógicas es en general demasiado grande como para poder tenerlas todas en cuenta. Por este motivo se emplea el siguiente método aproximado (43) para calcular las probabilidades de asignación (44).

10

Sea $I_{q,n}$ la n -ésima imagen segmentada del q -ésimo tramo individual. Y sea $p_{q,n,r}$ la probabilidad de que el r -ésimo individuo de la base de datos dé lugar a dicha n -ésima imagen segmentada del q -ésimo tramo individual, $I_{q,n}$. Se busca una aproximación a la probabilidad de asignación del tramo q^* . Suponiendo que el tramo q^* pertenece al individuo r^* de la base de datos, y dado que las imágenes de cada tramo son
15 independientes de las imágenes de otros tramos, tenemos que

$$P\left(\{I_{q,n}\}_{q=1; n=1}^{Q; N_q} \mid a_{q^*} = r^*\right) = \prod_{q=1}^Q P\left(\{I_{q,n}\}_{n=1}^{N_q} \mid a_{q^*} = r^*\right). \quad (e)$$

Para tener en cuenta las relaciones lógicas, se expande esta ecuación en función de las posibles asignaciones
20 del resto de los tramos,

$$P\left(\{I_{q,n}\}_{q=1; n=1}^{Q; N_q} \mid a_{q^*} = r^*\right) = \prod_{q=1}^Q \sum_{r'=1}^R P\left(\{I_{q,n}\}_{n=1}^{N_q} \mid a_{q^*} = r^*, a_q = r'\right) P(a_q = r' \mid a_{q^*} = r^*). \quad (f)$$

Una vez determinada la asignación del q -ésimo tramo, $a_q = r'$ la probabilidad de las imágenes de dicho tramo, $\{I_{q,n}\}_{n=1}^{N_q}$, queda determinada con independencia de otras asignaciones (en este caso, de la asignación $a_{q^*} = r^*$). Así pues, podemos escribir simplemente

25

$$P\left(\{I_{q,n}\}_{q=1; n=1}^{Q; N_q} \mid a_{q^*} = r^*\right) = \prod_{q=1}^Q \sum_{r'=1}^R P\left(\{I_{q,n}\}_{n=1}^{N_q} \mid a_q = r'\right) P(a_q = r' \mid a_{q^*} = r^*). \quad (g)$$

Asumiendo independencia entre las distintas imágenes segmentadas, tenemos que

$$P\left(\{I_{q,n}\}_{n=1}^{N_q} \mid a_q = r'\right) = \prod_{n=1}^{N_q} p_{q,n,r'}. \quad (h)$$

El término $P(a_q = r' | a_{q^*} = r^*)$ encapsula las relaciones lógicas entre tramos. Por simplicidad, en este punto se tienen en cuenta únicamente las relaciones lógicas del tramo q^* con todos los demás, y no las relaciones lógicas de los demás tramos entre ellos. Asumiendo que cada tramo tiene la misma probabilidad a priori de corresponder a cada individuo de las referencias, se tiene que,

5

$$P(a_q = r' | a_{q^*} = r^*) = \begin{cases} 1/R & \text{si } c_{qq^*} = 0 \\ 1/(R-1) & \text{si } c_{qq^*} = 1, r' \neq r^* \\ 0 & \text{si } c_{qq^*} = 1, r' = r^* \end{cases} \quad (i)$$

Ahora, usando el teorema de Bayes, y asumiendo que todas las asignaciones son igualmente probables a priori, se llega a

$$10 \quad P(a_{q^*} = r^* | \{J_{q,n}\}_{q=1; n=1}^{Q; N_q}) = \frac{\prod_{q=1}^Q \sum_{r'=1}^R P(\{I_{q,n}\}_{n=1}^{N_q} | a_q = r') P(a_q = r' | a_{q^*} = r^*)}{\sum_{r''=1}^R \prod_{q=1}^Q \sum_{r'=1}^R P(\{I_{q,n}\}_{n=1}^{N_q} | a_q = r') P(a_q = r' | a_{q^*} = r'')} \quad (j)$$

Aplicando las ecuaciones (h), (i) y (j) se calculan las probabilidades de asignación para cada tramo (44). De todos los tramos, se toma aquél cuya asignación se pueda realizar con más certeza, y se le asigna el individuo más probable. Una vez hecha dicha asignación, se recalculan de nuevo todas las probabilidades (46), teniendo en cuenta la asignación ya hecha. Se reitera el proceso, hasta que todos los tramos están asignados.

15

Una vez están asignados los tramos, se generan las trayectorias. Dado que la asignación de tramos se ha realizado respetando las relaciones lógicas entre ellos, en cada fotograma habrá como máximo una imagen segmentada asignada a cada uno de los individuos de las referencias. Por tanto, para generar la trayectoria de cada individuo basta tomar los centros de las imágenes segmentadas que le corresponden en cada fotograma.

20

En aquéllos fotogramas en los que ninguna imagen segmentada haya sido asociada al individuo en cuestión (por ejemplo si el individuo forma parte de una imagen segmentada en la que hay varios individuos solapantes) pueden dejarse como huecos en las trayectorias, o rellenarse mediante interpolación o mediante cualquier otro método. En ocasiones estas imágenes múltiples pueden resegmentarse, por ejemplo empleando un método como el detallado en la figura 8, separando los individuos que forman parte de ella. En ocasiones, en vez de

25

utilizar los centros de las imágenes segmentadas será conveniente utilizar otro punto, como por ejemplo una parte concreta de la anatomía de los individuos. Para este fin puede emplearse el método de localización de puntos de interés detallado en la figura 7 (51). En este caso, también será posible localizar estos puntos de interés en imágenes formadas por varios individuos solapantes, ayudando en la tarea de rellenar los huecos de las trayectorias.

30

La presente invención también ha previsto que en el vídeo, dos imágenes del mismo pez correspondientes a fotogramas contiguos a menudo contienen prácticamente la misma información. Por este motivo, la suposición de independencia hecha más arriba no es una buena aproximación. Para mejorar dicha aproximación se puede usar el siguiente método, que consiste simplemente en modular la probabilidad de cada imagen, de modo que
 5 las imágenes más independientes tengan más peso que las menos independientes. Así, la ecuación (h) se sustituiría por

$$P(\{J_{q,n}\}_{n=1}^{N_q} | a_q = r') = \prod_{n=1}^{N_q} (p_{q,n,r'})^{k_n} \quad (k)$$

donde los k_n actúan de moduladores. Nótese que si por ejemplo $k_n = 2$ la n -ésima imagen tiene el doble de
 10 peso en el cálculo de la probabilidad (es decir, es como si hubiera dos imágenes que apuntan al mismo individuo o clase de la referencia con iguales probabilidades). Para calcular los k_n se puede proceder, por ejemplo, de la siguiente manera.

Cada imagen segmentada de un tramo se representa como un segmento de diez unidades de longitud sobre una
 15 recta. El segmento de la primera imagen comienza en $x_1 = 0$. El segmento correspondiente cada nueva imagen comienza en $x_n = x_{n-1} + 10(1-s)$ redondeado hacia abajo, donde s es la proporción de píxeles que solapan entre la primera y la segunda imagen. Así, si ambas imágenes solapan completamente ($s = 1$), los dos segmentos también solaparán completamente. Cuanto menos solapen las imágenes, menos solaparán también sus segmentos correspondientes. Se sitúan de esta manera todos los segmentos sobre la recta. En algunos
 20 casos, en vez de utilizar el solapamiento entre imágenes para estimar la redundancia de información, se pueden utilizar las propias nubes de puntos de las imágenes. Para ello, se calcula la diferencia promedio entre nubes de puntos correspondientes a imágenes independientes del mismo individuo. Dado el error entre dos imágenes consecutivas, el segmento de la segunda imagen se desplaza una cantidad que depende de la diferencia entre las nubes de puntos de las dos imágenes, relativa a la diferencia promedio calculada anteriormente.

Una vez hecho esto, se calculan los pesos k_n de la siguiente manera. Para cada imagen (sea por ejemplo la
 25 imagen n), se recorre su segmento unidad por unidad. Por cada unidad, se suma a k_n una cantidad $0.1/H$, siendo H el número de segmentos correspondientes a otras imágenes que solapan con la misma unidad de la recta. Así, una imagen contribuye en mayor proporción al número efectivo de imágenes cuanto menos solape con las imágenes adyacentes (y cuanto menos solapen estas con las siguientes, etc). Una imagen que no solapa
 30 con ninguna otra tendrá $k_n = 1$. Una vez calculadas las k_n , basta usar la ecuación (k) en vez de la ecuación (h) en el método descrito más arriba.

La figura 6 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de transformación de imágenes, orientado al cálculo de la signatura de uno o varios píxeles de la imagen problema (48). Este método

comparte varios pasos con el presentado en la figura 1. De la imagen (2) se seleccionan uno o varios pixeles (49), que se denominarán pixeles centrales, cuyas firmas se desean calcular. Para cada pixel central, se selecciona una serie de combinaciones de pixeles de la imagen (50). Estas combinaciones pueden ser, por ejemplo, todas las parejas formadas por el pixel central y cada uno de los demás pixeles de la imagen.

5 Alternativamente, se pueden escoger por ejemplo todas las parejas formadas por el pixel central y todos los demás pixeles que estén a menos de una cierta distancia umbral del pixel central. Alternativamente se pueden coger por ejemplo todas las parejas que se pueden formar con todos los pixeles que estén a menos de una cierta distancia umbral del pixel central. Una vez elegidas las combinaciones de pixeles (50), se continúa con el proceso calculando las distancias entre pixeles y sus intensidades (4). A continuación se pueden realizar
 10 operaciones matemáticas entre las distancias e intensidades de los pixeles (5). A continuación se generan las nubes de puntos en espacios multidimensionales (6), y se pueden realizar histogramas (7) de dichas nubes de puntos. Por cada pixel central (49) que se haya seleccionado habrá un conjunto de nubes de puntos (6) y/o histogramas (7), que constituyen la firma de dicho pixel central.

15 La figura 7 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del método de localización de puntos de interés (51), combinado con la identificación de partes de individuos que no requiere una segmentación correcta de cada individuo. Se parte de un conjunto de imágenes de referencia (52). Estas imágenes pueden estar preprocesadas y segmentadas, pero no han sido transformadas todavía. Manualmente el usuario selecciona el punto de interés (53) en cada una de las imágenes de referencia. Se realiza la transformación (48) sobre estas
 20 imágenes, tomando como pixel central (49) el punto de interés (53) seleccionado manualmente, de modo que se calcula la firma (54) de dicho pixel en cada una de las imágenes de la base de datos. A continuación se toma la imagen problema (55), y se realiza sobre ella la transformación (48), esta vez usando como pixeles centrales todos los pixeles de la imagen, o un subconjunto de ellos. De este modo se calculan las firmas (56) de los pixeles de la imagen problema. A continuación se comparan las firmas (56) de los pixeles de la imagen
 25 problema con las firmas (54) de los pixeles seleccionados en las imágenes de referencia. Esta comparación se hace con uno de los métodos descritos anteriormente (15). Finalmente, de entre todos los pixeles de la imagen problema se selecciona aquél cuya firma presente menores diferencias respecto a las firmas de referencia (57).

30 La figura 8 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización de un método (58) de identificación y/o clasificación que, gracias al método de localización de puntos de interés (51) descrito en la figura 7, no requiere una segmentación de la imagen. Este método parte de un conjunto de imágenes (59) que contiene una o varias imágenes de cada individuo o clase. Por ejemplo, la base de datos puede estar formado por las imágenes que dan lugar a la base de datos (14) resultante del algoritmo de seguimiento (34) en un vídeo de peces. De este
 35 conjunto de imágenes (59) se selecciona un subconjunto de imágenes, que se usarán como imágenes de referencia (52) para la determinación de puntos de interés. Se aplica entonces el método (51), empezando por la

selección manual por parte del usuario de los puntos de interés (53) en las imágenes de referencia (52). Por ejemplo, en el caso de estar utilizando la base de datos de un vídeo de seguimiento de peces, el punto de interés puede ser el punto central de los ojos de cada pez, o cualquier otro punto de la anatomía del pez. A continuación se toman el resto de las imágenes (59), y sobre cada una de ellas se aplica el método de localización de puntos de interés (51), de modo que se localiza el pixel (60) cuya signatura es más parecida a la de los pixeles seleccionados por el usuario en las imágenes de referencia, y se almacenan sus signaturas (61). Estas signaturas (61) harán la función de la base de datos (14) de cara a la identificación o clasificación de la imagen problema. Finalmente, se toma la imagen problema (55) y se emplea de nuevo el procedimiento (51) para encontrar el pixel (61) más parecido a los puntos de interés seleccionados por el usuario. Esta imagen podría ser, por ejemplo, la imagen de un pez que no ha podido ser segmentada correctamente (por ejemplo por solapar con otro pez), pero en la que la cabeza es visible. Por ejemplo en el caso de tener un grupo de varios peces solapantes, es posible que en la imagen haya más de un punto de interés, en cuyo caso el algoritmo debería realizar varias búsquedas para encontrarlos todos. Seguidamente, se compara la signatura (63) del pixel seleccionado (62) con las signaturas (61) de la base de datos. Dado que la signatura de un pixel consiste en un conjunto de nubes de puntos en espacios multidimensionales (6) o en histogramas de dichas nubes de puntos (7), el proceso de comparación (13) es idéntico al descrito en la figura 2, dando como resultado final la identificación o clasificación (21) de la imagen problema.

En otra realización particular, la selección manual de puntos de interés (53) se puede sustituir por un algoritmo que calcule la signatura de un pixel de una primera imagen (59), y busque mediante el método (51) los pixeles más parecidos en el resto de las imágenes (59), calculando las diferencias entre las signaturas de estos pixeles. El proceso se repite para cada pixel de la primera imagen. Finalmente, se emplean como puntos de interés los pixeles cuyas signaturas tengan mayor variabilidad entre individuos o clases, relativa a la variabilidad entre imágenes del mismo individuo o clase.

25

La figura 9 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización de un método de segmentación de imágenes (63) que hace uso del método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales. Por un lado se tiene una imagen problema (65) en la que se quiere realizar la segmentación, y por otro una imagen correctamente segmentada (67). Se realiza la transformación (48) de la imagen problema, obteniendo la signatura de cada pixel (67). Paralelamente se realiza la transformación (48) de la imagen problema, obteniendo la signatura de cada pixel (68). Se comparan (15) todas las signaturas (67) de los pixeles de la imagen problema con todas o un subconjunto de las signaturas (68) de la imagen segmentada. Para cada pixel de la imagen problema, se busca el pixel de la imagen segmentada cuya signatura sea más parecida, y se asigna al pixel correspondiente de la imagen problema la diferencia entre ambas signaturas. Así se genera un mapa de diferencias (69), que indica lo parecidos que son cada uno de los pixeles de la imagen problema a los pixeles de la imagen segmentada. Sobre este mapa se puede realizar un pre-proceso, como por ejemplo pasar

un filtro gaussiano para suavizarlo. A continuación se selecciona la región o regiones (70) con menores diferencias. Se extraen los píxeles correspondientes a dichas regiones, dando lugar a un conjunto de imágenes segmentadas (71). En ocasiones este proceso dará lugar a una sola imagen segmentada (71), que constituirá una segmentación suficientemente buena de la imagen. Pero también es posible que surjan varias imágenes (71) distintas, de las que sólo una corresponda con el objeto que se quiere segmentar, o que surja una imagen pero pueda corresponder a un objeto distinto. En este caso, para seleccionar la imagen segmentada correcta se transforma (1) cada una de las imágenes segmentadas, usando el método mostrado en la figura 1. Se transforma (1) asimismo la imagen segmentada (66). A continuación se comparan (15) las nubes de puntos o histogramas de las imágenes segmentadas (71) con las procedentes de la imagen segmentada (66). Se selecciona la imagen segmentada (71) que menor diferencia tenga con la imagen segmentada (66), y/o se acepta cuando la diferencia esté por debajo de un cierto umbral, dando lugar a la segmentación (72) de la imagen problema.

El método de identificación aquí descrito requiere que la resolución con la que se toma la imagen de cada individuo sea relativamente alta. Esto puede limitar el tamaño del espacio en el que se pueden mover los individuos. Sin embargo, el método no requiere que los individuos sean visibles durante todo el tiempo, ya que puede recuperar las identidades en cualquier momento. Por tanto, es posible hacer seguimiento de sólo una parte del espacio en el que se mueven los individuos. También es posible tener un conjunto de cámaras que obtienen imágenes de baja resolución de un área grande, y realizar un tracking convencional con estas cámaras. Al mismo tiempo, otro conjunto de cámaras obtienen imágenes de mayor resolución de una parte del espacio, de modo que cada vez que un individuo es identificado cada vez que pasa por dicha región. De este modo, las identidades de los individuos se recuperan cada cierto tiempo, permitiendo corregir los errores que comete el tracking convencional.

Un dispositivo experimental, como ejemplo de realización particular, empleado para la captura de imágenes de peces consiste en una urna de metacrilato transparente en cuyo interior están los peces a ser identificados. Esta urna está completamente sumergida en el agua, en proximidad al fondo, que es de color blanco. La cámara es una Basler A622f monocroma, con resolución máxima 1280x1024 píxeles y conexión al ordenador mediante puerto FireWire (IEEE 1394). La cámara tiene un objetivo Pentax de 16 mm de focal. Entre el extremo del objetivo y la superficie superior del recipiente de metacrilato hay 65 cm. De esta manera, el recipiente de metacrilato que contiene los peces ocupa una superficie de 950 x 950 píxeles en el sensor de la cámara. Se fijó un tiempo de exposición de 4 ms, y una ganancia de 100. En estas condiciones, y con una profundidad de gris de 8 bits, la cámara adquiere 31 fotogramas por segundo. La iluminación se consigue por medio de seis focos halógenos de 500 W dirigidos al techo de color blanco. Para proyectar una sombra uniforme sobre el recipiente de identificación, se coloca una placa cuadrada de cartón de aproximadamente 75 x 75 cm en torno al objetivo de la cámara.

REIVINDICACIONES

1.- Método de transformación de imágenes en nubes de puntos de espacios multidimensionales, en el que se dispone de al menos una imagen a transformar capturada mediante al menos un dispositivo de captación de
5 imágenes, caracterizado porque comprende las siguientes fases:

- i) seleccionar combinaciones de al menos dos píxeles de la al menos una imagen;
- ii) calcular, para cada una de las combinaciones de los al menos dos píxeles seleccionadas en la fase i), una distancia entre cada par de píxeles y una intensidad de cada uno de los píxeles;
- iii) generar al menos una nube de puntos en al menos un espacio multidimensional, mediante una
10 asignación, a cada combinación de al menos dos píxeles, de un punto en al menos uno de los espacios multidimensionales cuyas coordenadas corresponden con unos valores seleccionados entre las distancias, intensidades y una combinación de ellas calculadas en la fase ii).

2.- Método, según la reivindicación 1, caracterizado porque las combinaciones de al menos dos píxeles de la fase
15 i) están seleccionadas entre:

- todas las combinaciones posibles entre los al menos dos píxeles de la imagen;
- todas las combinaciones posibles entre los al menos dos píxeles de la imagen que cumplan que las distancias entre los al menos dos píxeles sean inferiores a un umbral;
- un píxel central y todas las combinaciones posibles con al menos otro píxel que se encuentre a una
20 distancia menor a un umbral, generándose una nube de puntos en cada espacio multidimensional para cada uno de los píxeles de la imagen, calculándose así una signature de cada píxel; y,
- todas las combinaciones posibles entre al menos dos píxeles de la imagen que cumplan que su distancia a un píxel central es menor que un cierto umbral, generándose una nube de puntos en cada espacio multidimensional para cada uno de los píxeles de la imagen, calculándose así una signature de cada
25 píxel.

3.- Método, según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque somete la al menos una imagen a un pre-procesado para mejorar la calidad de la imagen.

30 4.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque, para imágenes cuyos píxeles contienen más de una longitud de onda, la fase ii) comprende calcular una intensidad para cada longitud de onda del píxel.

5.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque, para imágenes cuyos
35 píxeles contienen más de una longitud de onda, la fase ii) comprende asignar un índice unidimensional a cada combinación posible de longitudes de onda de un mismo píxel.

6.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende multiplicar todas las distancias entre píxeles calculadas en la fase ii) por un factor de escala.

5 7.- Método, según la reivindicación 6, caracterizado porque el factor de escala maximiza la similitud entre la nube de puntos de al menos uno de los espacios multidimensionales de la al menos una imagen, y las nubes de puntos correspondientes de al menos otra imagen.

8.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque cuando se dispone de
10 más de una imagen a transformar, la generación de nubes de puntos en espacios multidimensionales se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas entre:

- generar nubes de puntos en espacios multidimensionales diferentes e independientes para cada imagen; Y;
- generar nubes de puntos en un mismo espacio multidimensional para varias imágenes.
- una combinación de las técnicas anteriores.

15

9.- Método, según la reivindicación 8, caracterizado porque cuando se generan nubes de puntos en un mismo espacio multidimensional para varias imágenes, la generación de nubes de puntos se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas entre:

- generar una nube de puntos formada por la unión de las nubes de puntos correspondientes a cada imagen;
- 20 - generar una nube de puntos formada por la unión de las nubes de puntos correspondientes a cada imagen donde se ha añadido una dimensión adicional al espacio multidimensional con identificadores de cada imagen para que las nubes de puntos procedentes de cada imagen no se superpongan;
- generar una nube de puntos formada por la unión de las nubes de puntos correspondientes a cada imagen, donde se ha hecho una transformación previa diferente a los puntos procedentes de cada imagen obteniendo
25 una nube de puntos no invariante ante un intercambio de dos imágenes; y,
- una combinación de las técnicas anteriores.

10.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende realizar operaciones matemáticas convencionales entre las distancias y/o intensidades calculadas en la fase ii),
30 generándose a partir de cada uno de los espacios multidimensionales originales al menos un espacio de igual o distinta dimensionalidad que el espacio original.

11.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende calcular un histograma de cada uno de los espacios multidimensionales.

35

12.- Método de identificación de objetos e individuos, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

- capturar al menos una imagen de referencia de al menos un objeto o individuo mediante un dispositivo de captación de imágenes;
- tratar la al menos una primera de referencia mediante el método descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, obteniendo al menos una nube de puntos de referencia de la al menos una
5 primera imagen;
- almacenar la al menos una nube de puntos de referencia en una base de datos asociándola al objeto o individuo del que proviene;
- capturar al menos una imagen de estudio de al menos un objeto o individuo mediante un dispositivo de captación de imágenes;
- 10 • tratar la al menos una imagen de estudio mediante el método descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, obteniendo al menos una nube de puntos de estudio de la al menos una segunda imagen;
- comparar la al menos una nube de puntos de estudio con la al menos una nube de puntos de referencia almacenada en la base de datos; y,
- 15 • identificar el objeto o individuo en base a la comparación de las nubes de puntos de estudio y referencia.

13.- Método, según la reivindicación 12, caracterizado porque tras las fases de captura de la al menos una imagen de referencia y la al menos una imagen de estudio se lleva a cabo una fase de segmentación de la al menos una imagen de referencia y de la al menos una imagen de estudio identificando unos píxeles que se
20 corresponden al objeto o individuo o parte de del mismo.

14.- Método, según la reivindicación 12, caracterizado porque tras la captura de la al menos una imagen de referencia de al menos un objeto o individuo, comprende las siguientes etapas:

- calcular una signature de referencia de al menos un píxel de la al menos una imagen de referencia;
- 25 • almacenar la signature de referencia en una base de datos asociándola al objeto o individuo del que proviene;

y tras la captura de la al menos una imagen de estudio de al menos un objeto o individuo, comprende las siguientes etapas:

- calcular una signature de estudio de al menos un píxel de la al menos una imagen de estudio;
- 30 • comparar la signature de estudio con las signatures de referencia; y,
- identificar el objeto o individuo de la al menos una imagen de estudio en base a la comparación de las signatures de estudio y referencia.

15.- Método, según la reivindicación 14, caracterizado porque la identificación del objeto o individuo de la al menos una imagen de estudio se realiza de un modo seleccionado entre:

35

- escogiendo un pixel de la al menos una imagen de referencia como pixel de referencia y buscando los pixeles de la al menos una imagen de estudio cuya signatura es más parecida a la de cada uno de los pixeles de referencia de la al menos una imagen de referencia; y,

5 - seleccionando un pixel de la al menos una imagen de estudio como pixel de referencia y buscando los pixeles de la al menos una imagen de referencia cuya signatura es más parecida a la de cada uno de los pixeles de referencia de la al menos una imagen de estudio.

16.- Método, según la reivindicación 15, caracterizado porque para cada nueva imagen adquirida se escogen como pixeles de referencia aquellos cuya signatura sea más parecida a las de los pixeles de referencia de 10 imágenes adquiridas previamente.

17.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 16 o 16, caracterizado porque los pixeles de referencia se escogen mediante las siguientes fases:

- adquirir varias imágenes de cada uno de los objetos o individuos que van a formar parte de la base de datos;

15 - calcular la signatura de al menos uno de los pixeles de cada imagen;

- buscar un pixel de cada imagen cuya signatura se parezca más a la de un pixel inicial de una de las imágenes;

- calcular una variabilidad de las signaturas de los pixeles escogidos entre imágenes del mismo objeto o individuo, y entre imágenes de distintos objetos o individuos;

- repetir las dos fases anteriores para varios pixeles iniciales distintos; y,

20 - escoger como pixeles de referencia aquéllos cuyas signaturas tengan mayor variabilidad entre objetos o individuos, con respecto a la variabilidad dentro de cada objeto o individuo.

18.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, caracterizado porque la al menos una imagen de referencia y la al menos una imagen de estudio se extraen de un mismo video.

25

19.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18, caracterizado porque la fase de comparación de la al menos una nube de puntos de estudio con la al menos una nube de puntos de referencia se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas entre:

- calcular una distancia entre un punto de la al menos una nube de puntos de referencia y el punto más cercano de la al menos una nube de puntos de estudio;

30

- calcular un primer histograma de la al menos una nube de puntos de referencia y un segundo histograma de la al menos una nube de puntos de estudio y comparar ambos histogramas;

- calcular un primer histograma de la al menos una nube de puntos de referencia y un segundo histograma de la al menos una nube de puntos de estudio y comparar ambos histogramas previamente normalizados; y,

- calcular un primer histograma de la al menos una nube de puntos de referencia y un segundo histograma de la al menos una nube de puntos de estudio y comparar ambos histogramas previamente suavizados mediante filtros.

5 20.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 19, caracterizado porque cuando hay más de una imagen de referencia, para cada imagen de estudio la comparación con las imágenes de referencia se realiza mediante una técnica seleccionada entre:

- calcular las diferencias entre los espacios multidimensionales de cada imagen de referencia de cada objeto o individuo y los de la imagen de estudio, y calcular un promedio para cada objeto o individuo;

10 - calcular un espacio promedio de los espacios multidimensionales para todas las imágenes de referencia de cada objeto o individuo, y calcular la diferencia entre el espacio promedio y el espacio de la imagen de estudio; y,
- calcular la diferencia entre el espacio multidimensional de cada imagen de referencia de cada objeto o individuo y la imagen de estudio y escoger, para cada objeto, al menos una de las menores diferencias con la imagen de estudio.

15

21.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 20, caracterizado porque la fase de identificación de la imagen de estudio se realiza mediante una técnica seleccionada entre:

- escoger el objeto o individuo de la base de datos cuyas imágenes de referencia asociadas sean más parecidas a la imagen de estudio;

20 - escoger el objeto o individuo de la base de datos cuyas diferencias respecto a la imagen de estudio estén por debajo de un umbral; y,

- calcular la probabilidad de que la imagen de estudio se corresponda con cada uno de los objetos o individuos de la base de datos, en base a un conjunto de parámetros seleccionado entre las diferencias entre la imagen de estudio y las imágenes de referencias, las diferencias entre las imágenes de referencia, y las diferencias entre

25 otras imágenes de objetos o individuos similares.

22.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 21, caracterizado porque cuando se dispone más de una imagen del objeto o individuo, la fase de identificación se realiza mediante una técnica seleccionada entre:

30 - escoger el objeto o individuo de la base de datos más parecido al individuo de estudio, en función de las diferencias entre las imágenes de estudio y las imágenes de referencia..

- calcular la probabilidad de que el objeto o individuo de estudio corresponda con cada uno de los almacenados en la base de datos, acumulando una evidencia suministrada por todas las imágenes de estudio.

35 23.- Método, según la reivindicación 22, en la que la probabilidad se calcula suponiendo que las imágenes son independientes.

24.- Método, según la reivindicación 22, en la que la probabilidad se calcula teniendo en cuenta una redundancia de información entre imágenes similares.

5 25.- Método, según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 24, caracterizado porque cuando se dispone de imágenes de estudio de varios objetos o individuos distintos, y una serie de relaciones lógicas entre ellos que describan la posibilidad o imposibilidad de que dos grupos de imágenes de estudio pertenezcan al mismo o a distintos individuos, en vez de calcular la probabilidad de identificación de cada individuo de estudio, se calcula la probabilidad de cada conjunto de identificaciones simultáneas de varios individuos de estudio, de forma que la
10 identificación de un objeto o individuo suministra información acerca de la identificación de otros individuos.

26.- Método, según la reivindicación 25, caracterizado porque se calcula la probabilidad de todas las posibles asignaciones entre elementos de la base de datos e individuos problema, teniendo en cuenta las probabilidades de identificación de cada individuo problema en base a sus imágenes, y las relaciones lógicas entre individuos
15 problema.

27.- Método, según la reivindicación 25, caracterizado porque se calcula la probabilidad de asignación de cada individuo problema por separado, pero teniendo en cuenta las relaciones lógicas con otros individuos problema, además de las probabilidades de identificación en base a sus imágenes.
20

28.- Método, según la reivindicación 27, caracterizado porque la asignación se realiza escogiendo el individuo con mejor probabilidad de asignación, posteriormente actualizando las probabilidades del resto de los individuos teniendo en cuenta que el individuo asignado es inamovible, y repitiendo el proceso hasta que todos los individuos están asignados.
25

29.- Método de segmentación de imágenes caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

- calcular la signatura de cada pixel de la imagen tal y como se describe en la reivindicación 2; y,
- seleccionar los pixeles de la imagen problema cuya signatura sea más parecida a las de otras imágenes del objeto.

30

30.- Método de localización de puntos de interés en una imagen, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

- calcular la signatura de cada pixel de la imagen tal y como se describe en la reivindicación 12; y,
- seleccionar el pixel de la imagen problema cuya signatura más se parezca a la signatura del pixel correspondiente al punto de interés de otras imágenes.

35

31.- Uso del método descrito en las reivindicaciones 12 a 30 para el reconocimiento, clasificación y seguimiento de objetos e individuos.

32.- Uso del método descrito en las reivindicaciones 12 a 30, combinado con técnicas de seguimiento
5 convencional.

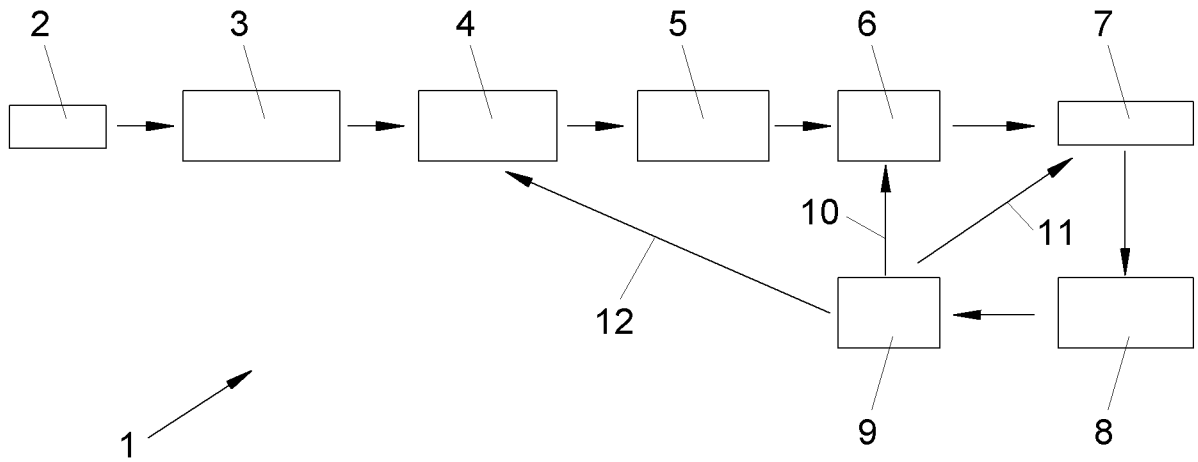


FIG. 1

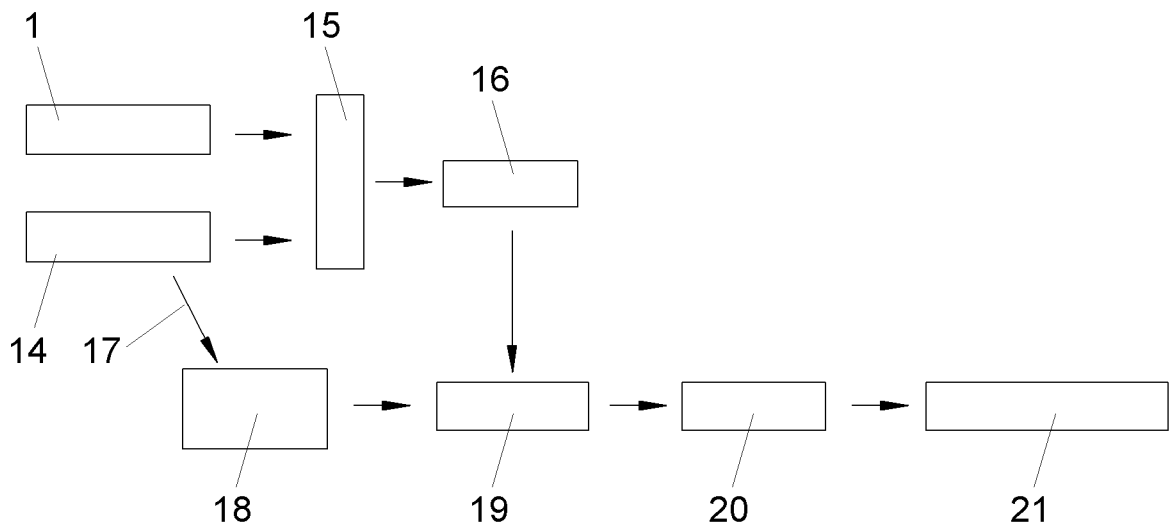


FIG. 2

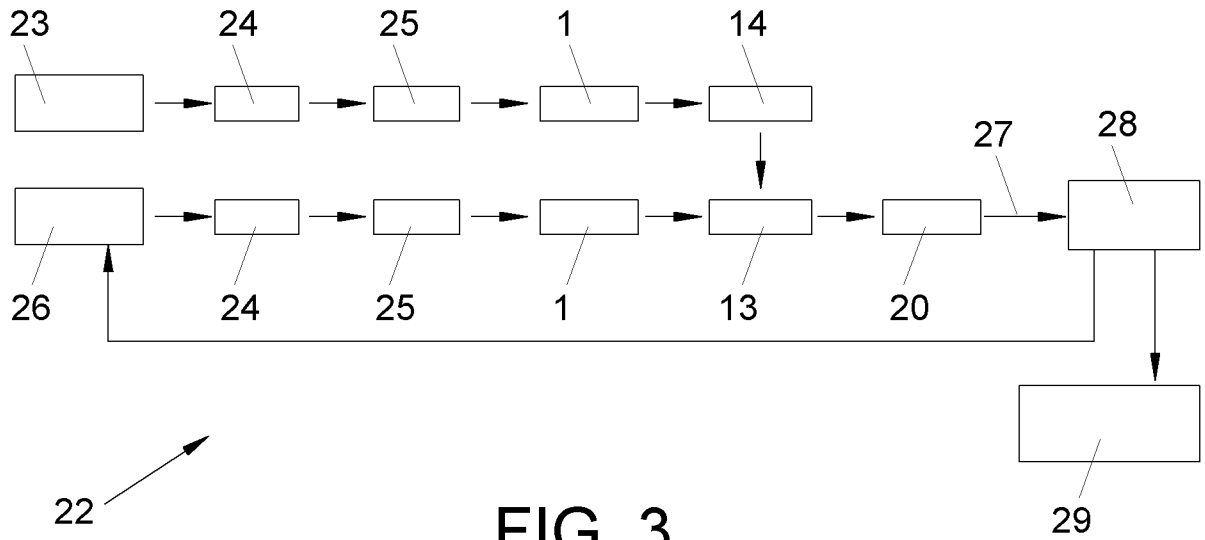


FIG. 3

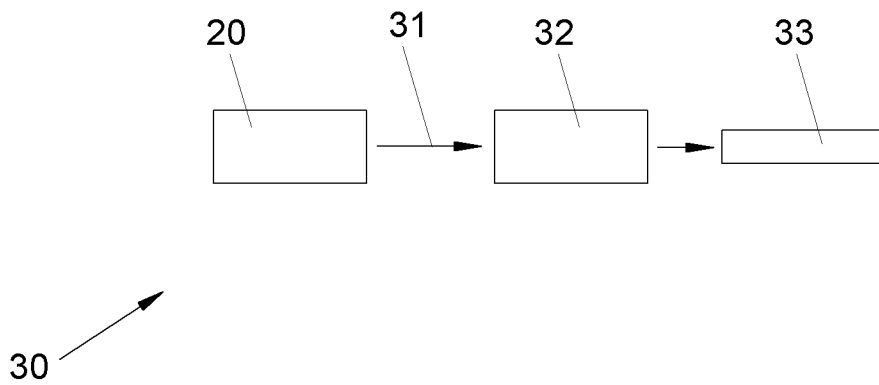


FIG. 4

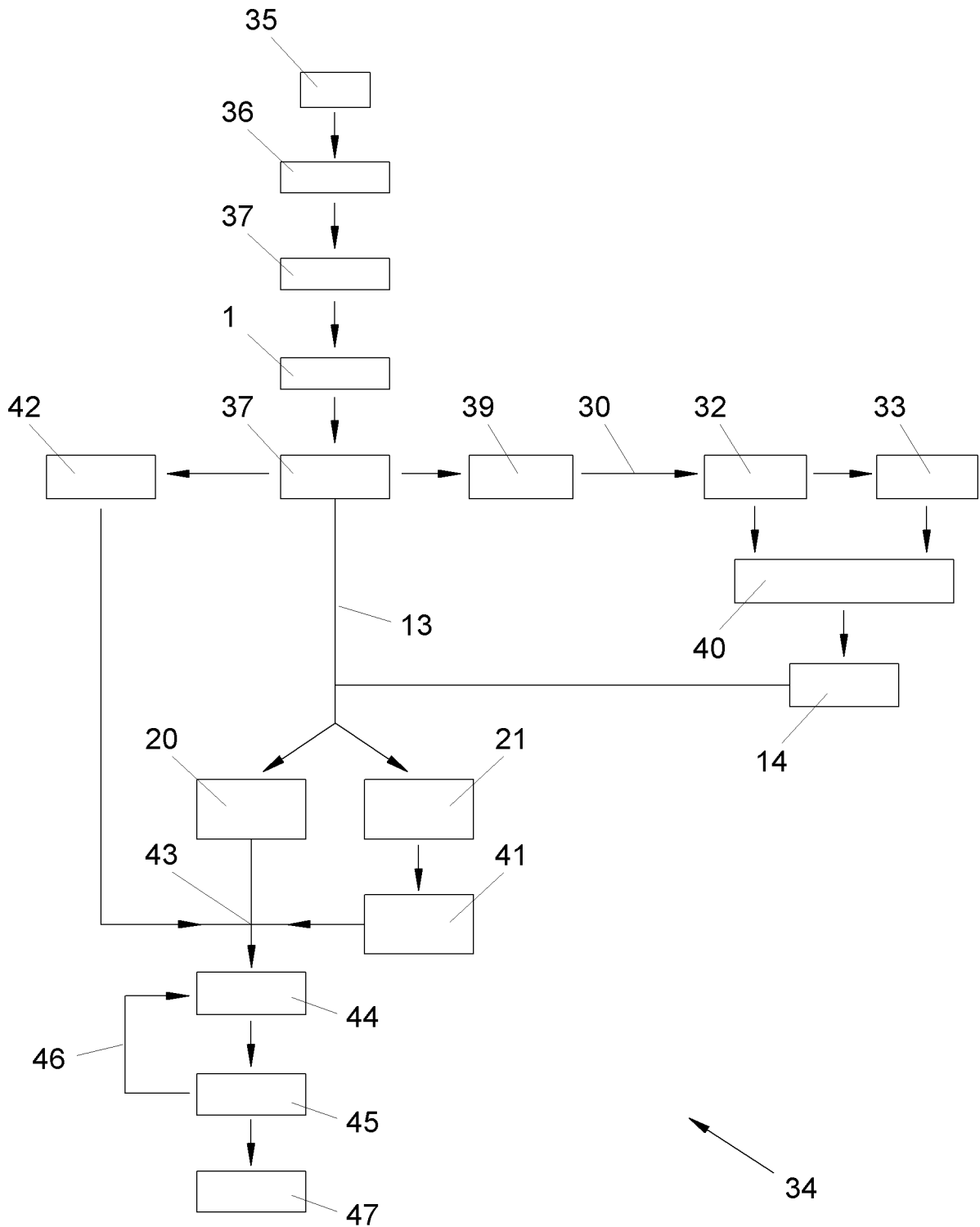
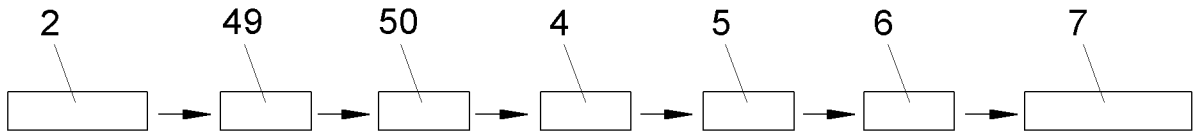
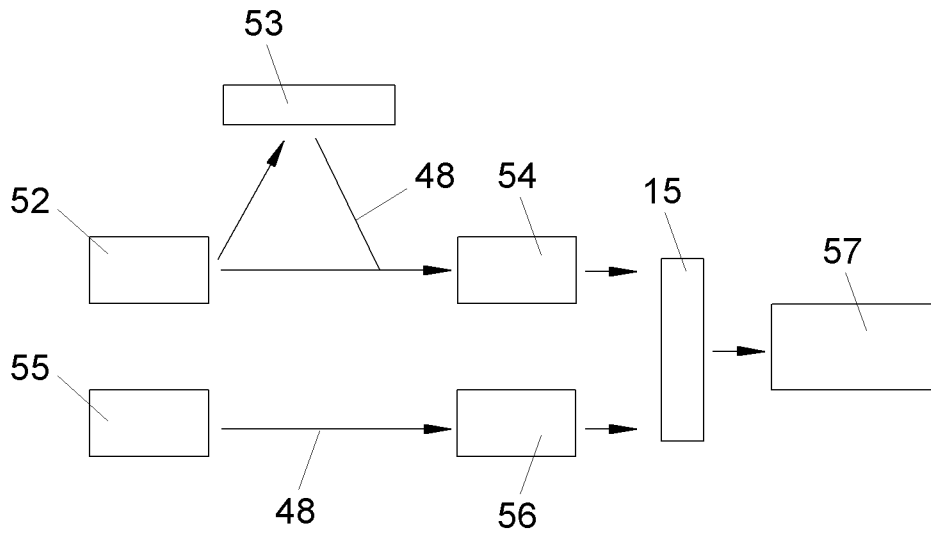


FIG. 5



48 ↗

FIG. 6



51 ↗

FIG. 7

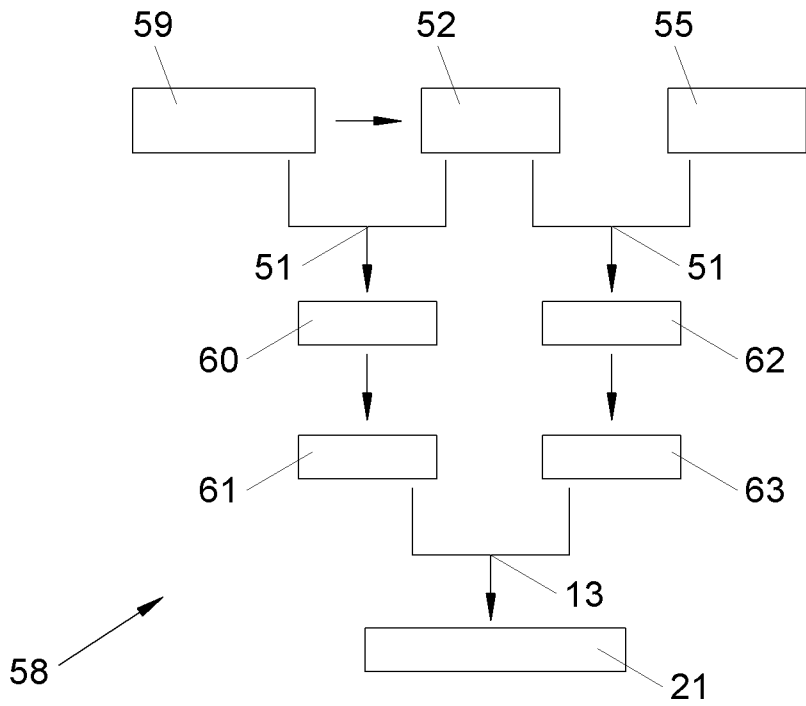


FIG. 8

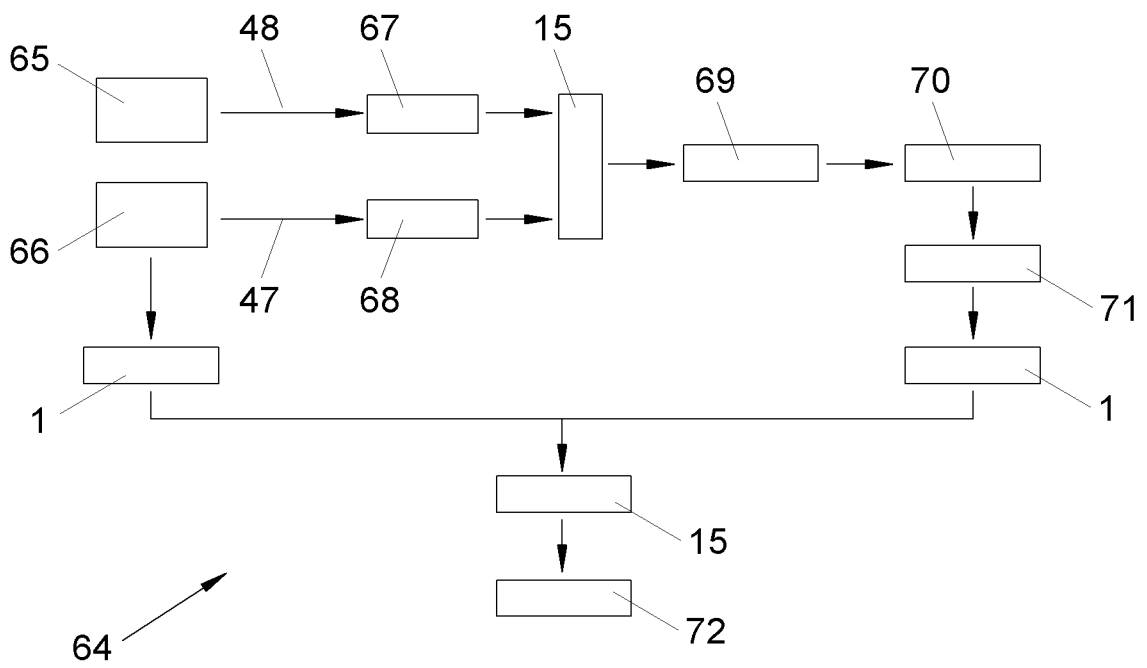


FIG. 9