

MÉTODO DE DETERMINACIÓN MEJORADO DEL SEXO DE UN POLLO

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un método de determinación del sexo de pollos mediante la observación de la disposición de las plumas en el extremo de las alas, y a un dispositivo para la realización de este método.

TÉCNICA ANTERIOR

Se conoce la determinación del sexo de los pollos según la disposición de las plumas situadas en el extremo de las alas. En efecto, como puede observarse en las Figuras 1a y 1b, los extremos de las alas comprenden dos filas de plumas que son las rémiges primarias y las cobertoras primarias. En las figuras se muestran los extremos de las rémiges y de las plumas cobertoras, respectivamente. En los pollos macho, en la Figura 1a, estas dos filas de plumas finalizan en el mismo nivel, mientras que en los pollos hembra, en la Figura 1b, el extremo de las rémiges primarias finaliza más lejos que el extremo de las cobertoras primarias, pudiendo observarse por tanto una alternancia de plumas relativamente cortas y largas.

La determinación del sexo de pollos por las plumas ha sido llevada a cabo primero manualmente por un operario, que necesita un tiempo apreciable para ello.

Se han propuesto también soluciones para automatizar esta determinación.

Así, se conoce del documento EP 1 092 347 un método de determinación del sexo de pollos que utiliza un transportador que permite separar los pollos y llevarlos delante de una cámara. En este punto, el pollo es desequilibrado, por ejemplo, por vibraciones del transportador, para hacer que despliegue sus alas por propia iniciativa, obteniéndose una o varias imágenes de las alas del pollo.

También se han propuesto métodos de tratamiento de imágenes para determinar automáticamente el sexo del pollo a partir de la imagen obtenida. Por ejemplo, en el documento US-6.396.938, un primer método comprende la extracción de parámetros de forma de cada pluma (longitud, posición del raquis y posición de la punta), y el cálculo de un parámetro que cuantifica la variación de longitud de dos plumas adyacentes.

Otro método descrito en este documento comprende la localización de las coordenadas de los extremos de las plumas, y la determinación de una función polinómica que une los

extremos de las plumas. El sexo del pollo se determina en función de los parámetros de la función polinómica.

Los pollos para los que el resultado sea incierto pueden estudiarse manualmente o ser objeto de una nueva determinación automática.

Sin embargo, en el documento US-6.396.938, estos métodos se llevan a cabo en una imagen de ala de pollo previamente anotada para detectar al menos los extremos de las plumas. Los métodos descritos no permiten por tanto llevar a cabo un tratamiento completamente automático de determinación del sexo del pollo a partir de la captura de la imagen.

SUMARIO

Teniendo en cuenta lo anterior, la invención tiene por objeto proponer una solución mejorada y completamente automática de determinación del sexo de un pollo a partir de una imagen de un ala del pollo.

En particular, la invención tiene como objetivo proponer un tratamiento rápido y fiable de una imagen para determinar el sexo del pollo.

Otro objetivo de la invención es proponer un tratamiento completamente automatizado para determinar el sexo del pollo.

En este sentido, la invención tiene por objeto un método de determinación del sexo de un pollo, llevándose a cabo el método por computadora a partir de una imagen de un pollo, el método que comprende:

- la determinación de una región de interés de la imagen en la que las plumas de un ala son visibles,
- la aplicación, en dicha región de interés, de un modelo de clasificación entrenado con un conjunto de datos de aprendizaje que comprende imágenes de alas de pollos macho y de alas de pollos hembra, para determinar el sexo macho o hembra del pollo.

En las modalidades, el método se lleva a cabo para cada una de una pluralidad de imágenes obtenidas en un mismo pollo, y comprende además una etapa de determinación del sexo del pollo a partir de los resultados obtenidos por el modelo de clasificación para el conjunto de las imágenes.

En las modalidades, la determinación de una región de interés de la imagen comprende:

- el barrido de la imagen con una ventana de tamaño determinado para definir una pluralidad de regiones de la imagen,

- para cada región, el cálculo de una característica de Haar de la región,
- la aplicación en cada característica de Haar de un clasificador entrenado para determinar si la región muestra o no plumas, y
- la determinación de una región de interés de la imagen como una región que muestra plumas.

En las modalidades, el método comprende además un tratamiento de la región de interés para determinar un conjunto de líneas correspondiente a las plumas del pollo en la imagen, la determinación de un conjunto de parámetros a partir de las líneas extraídas, aplicándose el modelo de clasificación a dicho conjunto de parámetros.

En las modalidades, el tratamiento de la región de interés para determinar un conjunto de líneas correspondiente a las plumas en la imagen, comprende:

- la realización de un tratamiento de detección de contornos en la región de interés, y
- la aplicación de una transformada de Hough a los contornos obtenidos del tratamiento para determinar un conjunto de líneas correspondiente a las plumas visibles en la región de interés.

En las modalidades, el tratamiento de detección de contornos comprende:

- la elaboración de un filtro gaussiano y de un umbral de la región de interés para obtener una representación binaria de la región de interés,
- el cálculo de un mapa de distancias en la representación binaria de la región de interés, para determinar una distancia entre cada punto y un contorno más próximo de dicho punto, y la normalización de dicho mapa para obtener una representación en niveles de gris de la región de interés, y
- la realización de una operación de erosión en la representación en niveles de gris obtenida.

En las modalidades, el umbral de la región de interés comprende la determinación, para cada píxel actual de la región de interés, de un valor umbral determinado en función de los valores de intensidad de los píxeles comprendidos en un entorno local del píxel actual.

En las modalidades, la determinación del conjunto de las líneas que representan las plumas comprende además:

- una rotación de la región de interés de un ángulo determinado a partir del ángulo, con respecto a la horizontal, de las líneas más

largas, para hacer dichas líneas sensiblemente horizontales, y

- la supresión de las líneas que, después de la rotación de la región de interés, se extienden de acuerdo con una dirección que forma un ángulo superior a un umbral predeterminado con respecto al eje de abscisas.

En las modalidades, la determinación de los parámetros a partir de las líneas obtenidas comprende:

- una identificación de un conjunto de líneas correspondiente a plumas largas, y
- una identificación de un conjunto de líneas correspondiente a plumas cortas.

En las modalidades, el método comprende la realización de una rotación de la región de interés de modo que las líneas que representan las plumas se extiendan sensiblemente en horizontal, una clasificación de cada línea por orden de longitud, comprendiendo la identificación del conjunto de líneas correspondiente a las plumas largas:

- la inicialización del conjunto de líneas correspondiente a plumas largas, comprendiendo dicho conjunto la línea más larga,
- la realización, para cada línea incluida en dicho conjunto, de las etapas siguientes:

- o identificación del conjunto de líneas vecinas a la línea considerada de acuerdo con el eje vertical,
- o cálculo, para cada línea vecina, de una diferencia de longitud y de una distancia entre el centro de la línea vecina y el centro de la línea considerada,
- o si la diferencia relativa y la distancia son inferiores a los umbrales respectivos, la identificación de la línea vecina como una línea correspondiente a una pluma larga, y la adición al conjunto de las líneas correspondientes a plumas largas.

En las modalidades, la identificación de un conjunto de líneas correspondiente a las plumas cortas comprende la realización, para cada línea correspondiente a una pluma larga del conjunto, comenzando por la línea situada en posición vertical máxima del conjunto, de las etapas siguientes:

- identificación, entre las líneas que no pertenecen al conjunto de líneas correspondiente a las plumas largas, de líneas vecinas a la línea considerada,

- cálculo, para cada línea vecina, de una diferencia de longitud, de una distancia de acuerdo con el eje vertical entre la línea considerada y la línea vecina, y de una distancia de acuerdo con el eje horizontal entre un extremo distal, respectivamente proximal de la línea considerada y el extremo proximal, respectivamente distal de la línea vecina,
- si las diferencias y distancias calculadas son inferiores a los umbrales respectivos, la identificación de la línea vecina como una línea correspondiente a una pluma corta.

En las modalidades, los parámetros determinados a partir de las líneas comprenden al menos:

- un número de líneas correspondiente a las plumas largas,
- un número de líneas correspondiente a las plumas cortas,
- un ángulo medio entre las líneas y la horizontal, y
- una diferencia media, medida verticalmente, entre dos líneas adyacentes.

En las modalidades, los parámetros determinados a partir de las líneas comprenden además al menos una de entre el grupo que consiste en:

- posición horizontal y/o vertical mínima, máxima y/o media de los centros de las líneas,
- distancia mínima, media y/o máxima, horizontal y/o vertical, entre el centro de dos líneas consecutivas,
- longitud mínima, media y/o máxima de las líneas correspondientes a las plumas largas,
- longitud mínima, media y/o máxima de las líneas correspondientes a las plumas cortas,
- intensidad media de los píxeles de una línea correspondiente a una pluma corta,
- intensidad media de los píxeles de una línea correspondiente a una pluma larga,
- diferencia de intensidad media de los píxeles entre las líneas correspondientes a las plumas largas y las líneas correspondientes a las plumas cortas,
- situación con respecto al eje horizontal de cada línea, un ángulo mínimo, medio y/o máximo entre dos líneas,

- una distancia mínima, media y/o máxima entre los extremos proximales de dos líneas correspondientes a una pluma larga y una línea correspondiente a una pluma corta situada entre estas,
- una distancia mínima, media y/o máxima entre los extremos distales de dos líneas correspondientes a una pluma larga y una línea correspondiente a una pluma corta situada entre estas.

En las modalidades, el modelo de clasificación entrenado para determinar el sexo de un pollo es un árbol de decisión.

En las modalidades, el modelo de clasificación se entrena mediante una base de datos de imágenes de entrenamiento anotadas, donde cada imagen de entrenamiento se obtiene por aplicación de las etapas de determinación de una región de interés y de tratamiento de la región de interés para extraer un conjunto de líneas que representan las plumas, comprendiendo la anotación una indicación del sexo del pollo y un nivel de certidumbre asociado, determinados a partir de un número de líneas correspondiente a plumas largas y de un número de líneas correspondiente a plumas cortas.

En las modalidades, el método se utiliza en un conjunto de imágenes de un mismo pollo, y comprende la determinación del sexo del pollo a partir del resultado más frecuentemente proporcionado por el modelo de clasificación.

De acuerdo con otro objeto, se describe un producto de programa de computadora que comprende instrucciones de código para la realización del método de acuerdo con la descripción anterior, cuando es ejecutado por un dispositivo de cálculo.

La invención se refiere también a un dispositivo de determinación del sexo de un pollo que comprende al menos:

- una cámara adecuada para obtener al menos una imagen de un pollo, y
- un dispositivo de cálculo configurado para la realización del método de acuerdo con la descripción anterior en la imagen obtenida por la cámara.

En las modalidades, la cámara es adecuada para adquirir imágenes en un intervalo de longitudes de onda comprendido entre 340 y 500 nm, preferiblemente comprendido entre 400 y 450 nm.

En las modalidades, el dispositivo comprende además un transportador adecuado para llevar un pollo al campo de visión de la cámara, en donde el transportador es adecuado para

desequilibrar a los pollos de modo que el pollo tenga las alas desplegadas cuando está delante de la cámara.

En las modalidades, la cámara está configurada para obtener una serie de al menos 20 imágenes de cada pollo.

En las modalidades, el dispositivo comprende un transportador, una primera estación de detección de pollos de un primer sexo, macho o hembra, que comprende dicha cámara, y un accionador adecuado para tomar o sacar del transportador los pollos detectados como pertenecientes al primer sexo, en donde el dispositivo de cálculo está configurado para aplicar en la imagen obtenida por la cámara un primer modelo de clasificación optimizado para detectar el primer sexo, estando el dispositivo de cálculo configurado además para aplicar un segundo modelo de clasificación optimizado para detectar el segundo sexo en las imágenes obtenidas en los pollos que no se hayan determinado como pertenecientes al primer sexo.

El método propuesto permite, a partir de una o varias imágenes de un pollo, determinar de forma automática, rápida y fiable el sexo del pollo. El método comprende concretamente una determinación de una región de interés de la imagen en la que las plumas del ala del pollo son visibles, seguido de un tratamiento de la imagen que permite extraer automáticamente un conjunto de líneas correspondientes a las

plumas, y por último una clasificación del sexo del pollo en función de los parámetros de estas líneas.

La determinación del sexo de un pollo puede hacerse así en 400 ms, mucho más rápida que los métodos anteriores.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Otras características, detalles y ventajas serán evidentes con la lectura de la descripción detallada que sigue, y tras el examen de las figuras adjuntas, en donde:

Fig. 1a

La [Fig. 1a] ya descrita, muestra un ejemplo de ala de pollo macho.

Fig. 1b

La [Fig. 1b], también ya descrita, muestra un ejemplo de ala de pollo hembra.

Fig. 2a

La [Fig. 2a] muestra esquemáticamente un ejemplo de dispositivo de determinación del sexo de un pollo de acuerdo con una modalidad.

Fig. 2b

La [Fig. 2b] muestra esquemáticamente otro ejemplo de dispositivo de determinación del sexo de un pollo de acuerdo con una modalidad.

Fig. 3

La [Fig. 3] muestra esquemáticamente las principales etapas de un método de determinación del sexo de un pollo de acuerdo con una modalidad.

Fig. 4a, Fig. 4b

Las [Fig. 4a], [Fig. 4b] muestran ejemplos de imágenes utilizadas para el entrenamiento de un clasificador utilizado para la determinación de la región de interés de la imagen.

Figura 5

La [Fig. 5] muestra un ejemplo de característica de Haar que puede calcularse en la imagen para la determinación de la región de interés.

Fig. 6a

La [Fig. 6a] muestra una etapa de un ejemplo de tratamiento utilizado en una región de interés de una imagen para extraer un conjunto de líneas correspondiente a las plumas.

Fig. 6b

La [Fig. 6b] muestra una etapa de un ejemplo de tratamiento utilizado en una región de interés de una imagen para extraer un conjunto de líneas correspondiente a las plumas.

Fig. 6c

La [Fig. 6c] muestra una etapa de un ejemplo de tratamiento utilizado en una región de interés de una imagen para extraer un conjunto de líneas correspondiente a las plumas.

Fig. 6d

La [Fig. 6d] muestra una etapa de un ejemplo de tratamiento utilizado en una región de interés de una imagen para extraer un conjunto de líneas correspondiente a las plumas.

Fig. 6e

La [Fig. 6e] muestra una etapa de un ejemplo de tratamiento utilizado en una región de interés de una imagen para extraer un conjunto de líneas correspondiente a las plumas.

Fig. 6f

La [Fig. 6f] muestra una etapa de un ejemplo de tratamiento utilizado en una región de interés de una imagen para extraer un conjunto de líneas correspondiente a las plumas.

Figura 7

La [Fig. 7] muestra un conjunto de líneas correspondiente a plumas largas y plumas cortas de pollos.

DESCRIPCIÓN DE LAS MODALIDADES

En referencia a la figura 3, se describirá a continuación un método de determinación del sexo de un pollo. Este método es llevado a cabo por una computadora 10 que comprende uno o varios dispositivos 11 de cálculo de tipo por ejemplo procesador, microprocesador, controlador, microcontrolador, FPGA, etc., y una memoria 12 que almacena instrucciones de código ejecutadas por el dispositivo de cálculo. Como se verá con más detalle a continuación, la memoria 12 puede almacenar también modelos de clasificación preentrenados que son utilizados en el tratamiento.

El método de determinación del sexo de un pollo se lleva a cabo mediante el tratamiento de una o varias imágenes que representan un ala del pollo recibida por la computadora 10.

En una modalidad representada esquemáticamente en la Figura 2a, un dispositivo 1 de determinación del sexo de un pollo comprende una cámara 20 adecuada para obtener imágenes de pollos y un dispositivo de cálculo al que la cámara 20 transmite las imágenes obtenidas.

La cámara 20 puede ser adecuada para obtener imágenes en longitudes de onda comprendidas entre 340 y 500 nm, por ejemplo, que es un intervalo de longitudes de

onda para el que se obtiene el mejor contraste para visualizar las plumas de las alas. La cámara puede adaptarse para obtener imágenes en un intervalo de longitudes de onda comprendidas entre 400 y 450 nm. La cámara puede ser monocromática y centrada en una longitud de onda de este intervalo, por ejemplo, 405 nm.

En las modalidades, el dispositivo 1 comprende un transportador 30 adaptado para llevar los pollos de forma individual y sucesiva en el campo de visión de la cámara 20. El transportador 30 puede configurarse para desequilibrar el pollo de modo que este tenga las alas desplegadas en el momento en que pasa delante de la cámara. Como ejemplo no limitativo, el transportador 30 puede comprender una parte situada antes de la cámara 20, pudiendo esta parte vibrar de forma que desequilibre a los pollos.

Además, la cámara puede tomar una serie de imágenes de cada pollo, por ejemplo al menos 20 imágenes obtenidas de forma consecutiva, por ejemplo 40 imágenes de cada pollo, que la cámara 20 transmite a la computadora 10 para la realización del método de determinación del sexo del pollo. El conjunto de imágenes tomadas por la cámara presenta las mismas dimensiones y la misma resolución.

En una modalidad mostrada en la Figura 2a, el dispositivo 1 puede comprender una única estación que

permita clasificar los pollos, que comprende una cámara 20 que toma las imágenes de los pollos, determinando la computadora 10 directamente si el pollo corresponde a un macho o a una hembra, aplicando el tratamiento descrito anteriormente, que comprende concretamente el uso de un algoritmo de clasificación entrenado para determinar si el pollo es un macho o una hembra.

En una variante, como por ejemplo el caso mostrado en la Figura 2b, el dispositivo 1 puede comprender una primera estación que comprende una cámara 20 que toma las imágenes de los pollos (con las alas desplegadas como se ha descrito anteriormente), y transmitiendo estas imágenes a una computadora 10 y permitiendo determinar únicamente si el pollo corresponde a un primer sexo, macho o hembra. En su caso, la computadora 10 establece un modelo de clasificación optimizado para detectar el primer sexo. En el ejemplo mostrado en la Figura 2b, la primera estación permite determinar únicamente los pollos hembra.

La primera estación comprende además un adaptador adecuado para tomar, o sacar, del transportador los pollos identificados como correspondientes al primer sexo.

Para los pollos restantes, en una modalidad, la computadora 10 puede aplicar en las imágenes correspondientes un segundo modelo de clasificación optimizado para detectar el

segundo sexo. En una variante, el dispositivo comprende una segunda estación que comprende también una cámara para volver a tomar imágenes de los pollos restantes. La computadora 10 (que puede ser distinto o idéntico al de la primera estación) lleva a cabo el tratamiento descrito anteriormente de las imágenes obtenidas y aplica un modelo optimizado para detectar el segundo sexo. El dispositivo 1 puede comprender un segundo accionador adaptado para tomar o sacar del transportador los pollos identificados como correspondientes al segundo sexo.

Los pollos restantes pueden recogerse para volver a ser llevados al punto de partida del transportador o para ser analizados por un operario.

De acuerdo con otra variante adicional, el transportador comprende dos estaciones de toma de imagen cada una con al menos una cámara, que permite duplicar las posibilidades de buena presentación del pollo con las alas abiertas, y un modelo de clasificación entre los sexos macho y hembra, o dos modelos de clasificación optimizados respectivamente para detectar cada sexo, que reciben en la entrada las imágenes procedentes de las dos cámaras.

Volviendo a la Figura 3, el método comprende una etapa 100 de determinación, a partir de una imagen del pollo, de una región de interés de la imagen en la que las plumas de un ala son visibles. Esta etapa permite por una parte descartar

las imágenes en donde las plumas de las alas no son visibles, y por otra parte seguir con los tratamientos en una región que puede ser de menor tamaño que la imagen de origen, permitiendo por tanto reducir el tiempo de cálculo.

A partir de la región de interés de la imagen así obtenida, el método comprende además, y como se describe más detalladamente a continuación, la aplicación de un modelo 400 de clasificación entrenado en una base de datos de aprendizaje que comprende imágenes de alas de pollo macho y de alas de pollo hembra, para determinar el sexo macho o hembra del pollo. Como se ha indicado anteriormente, el método puede comprender la realización sucesiva de un primer modelo optimizado para determinar que un pollo pertenece a un primer sexo, macho o hembra, y de un segundo modelo optimizado para determinar que un pollo pertenece al otro sexo, hembra o macho.

En las modalidades, la determinación 100 de la zona de interés puede hacerse aplicando un modelo entrenado, por ejemplo un modelo de tipo de aprendizaje profundo (deep learning).

En una modalidad particular, la determinación de la región de interés de la imagen comprende el barrido de la imagen con una ventana de tamaño determinado, para definir una pluralidad de regiones de la imagen.

Para cada región obtenida, se calculan las características 110 de Haar, que permiten obtener un vector asociado a cada región. En referencia a la Figura 5, se obtiene una característica de Haar a partir de un patrón M de píxeles de tamaño inferior al tamaño de la región R. El patrón de píxeles comprende dos subconjuntos de píxeles correspondientes a lugares determinados dentro del patrón. La característica de Haar se calcula restando las intensidades acumuladas de los píxeles del primer subconjunto a las intensidades acumuladas de los píxeles del segundo subconjunto. Por lo tanto, se obtiene una característica de Haar para cada posición posible del patrón de píxeles dentro de la región, y el vector obtenido reúne el conjunto de características de Haar calculadas en el conjunto de la región considerada.

El vector obtenido se proporciona a continuación a un clasificador entrenado 120 para determinar si la región de la que se obtiene el vector es una región que muestra plumas o no. En referencia a las Figuras 4a y 4b, el clasificador es entrenado de forma ventajosa por un algoritmo de tipo Adaboost, en una base de datos de imágenes que incluye imágenes que muestran plumas (Figura 4a) y otras imágenes (Figura 4b) que no muestran plumas, en las que se han calculados vectores de características de Haar de acuerdo con

el párrafo anterior. El clasificador entrenado de este modo puede ser, por ejemplo, un árbol de decisión.

La región de interés de la imagen es la región detectada que muestra plumas para el clasificador.

Pueden detectarse varias regiones de interés en la misma imagen. En las modalidades, las etapas siguientes del método pueden llevarse a cabo para el conjunto de las regiones de interés detectadas para una imagen. En una variante, las etapas siguientes del método se llevan a cabo para una primera región de interés, y únicamente en el caso donde una determinación del sexo del pollo no sea posible a partir de esta primera región de interés, el método se repite para una segunda región de interés, y así sucesivamente hasta obtener una determinación del sexo del pollo a partir de la imagen.

En las modalidades, una vez identificadas la o las regiones de interés para una imagen, el método puede comprender la aplicación directa 400 de un modelo de clasificación entrenado en dicha región de interés, por ejemplo del tipo de red neuronal.

En una variante, y como se muestra en la Figura 3, el método comprende, antes de la realización del modelo de clasificación, una etapa 200 de tratamiento de la región de interés para determinar líneas correspondientes a las plumas del pollo, y una etapa 300 de determinación de un conjunto

de parámetros pertinentes suministrados en la entrada del modelo.

En referencia a las Figuras 6a a 6f, se describirá una modalidad de un tratamiento 200 de la (o de cada) región de interés para extraer líneas correspondientes a las plumas del pollo en la imagen.

Este tratamiento comprende la realización de una detección 210 de contornos en la región de interés, y la determinación de un conjunto de líneas 220, correspondiente a las plumas, a partir de los contornos detectados.

En la Figura 6a se ha mostrado un ejemplo de región de interés de una imagen obtenida tras la etapa 100 descrita anteriormente. En las modalidades, el tratamiento de detección de contornos comprende el uso de un filtro gaussiano y de un umbral de la región de interés para obtener una representación binaria de dicha región, como se muestra en la figura 6b, es decir, una región en donde el conjunto de píxeles son bien negros, o bien blancos.

De forma ventajosa, el umbral es adaptativo, de forma que compense posibles variaciones de las condiciones de iluminación de la imagen. El umbral local puede determinarse, para cada píxel en curso de la región de interés, a partir de valores de intensidad de los píxeles comprendidos en un entorno local del píxel en curso, por

ejemplo una ventana cuadrada centrada en el píxel en curso. El umbral puede ser por ejemplo la media de las intensidades de los píxeles de la ventana.

El tratamiento de detección de contornos puede comprender a continuación una etapa de cálculo de un mapa de distancias en la representación binaria obtenida, para determinar una distancia entre cada punto de la región binaria y el contorno más próximo del punto. La métrica utilizada para calcular las distancias puede ser por ejemplo la distancia de Techbychev o una distancia tablero de ajedrez. El mapa de distancias obtenido se normaliza a continuación para obtener una representación en niveles de grises de la región de interés, como en el ejemplo mostrado en la Figura 6c.

El tratamiento comprende a continuación una operación de erosión de la región de interés obtenida, que permite reducir el ruido en la imagen y en particular entre las plumas.

La determinación 220 de las líneas correspondientes a las plumas puede hacerse a continuación en la región de interés obtenida por la aplicación de una transformada de Hough. En el ejemplo mostrado de las Figuras 6a a 6f, las líneas obtenidas son visibles en la Figura 6d. Por la descripción anterior se comprende que las líneas son conjuntos de píxeles dispuestos sensiblemente de acuerdo con una forma de

línea, pero las líneas no son necesariamente rectilíneas perfectas ni de anchura constante.

Una vez obtenidas las líneas, el método puede comprender también una rotación 230 de la región de interés para que las líneas sean sensiblemente horizontales. En este sentido, el ángulo de rotación puede determinarse identificando las plumas más largas de la región de interés, por ejemplo las dos o tres plumas más largas, y calculando el ángulo de cada línea con respecto al eje de abscisas X, y calculando el ángulo medio en las plumas consideradas.

En las modalidades, una vez realizada la rotación, puede recalcularse el ángulo de cada línea correspondiente a una pluma con respecto al eje X, y suprimir las líneas que forman un ángulo, con respecto a este eje, superior al umbral determinado, ya que estas líneas corresponden entonces a ruido y no a auténticas plumas. El umbral angular puede estar comprendido entre 20 y 30°, por ejemplo, igual a 25°. En la Figura 6e se muestra un ejemplo de resultado.

Volviendo a la Figura 3, la determinación de los parámetros 300 a partir de las líneas que representan las plumas comprende en primer lugar la identificación 310 de las líneas correspondientes a las plumas largas y la identificación de las líneas 320 correspondientes a las plumas cortas. En la Figura 6f se muestran las líneas LL correspondientes a las

plumas largas y las líneas LC correspondientes a las plumas cortas.

La identificación de las líneas correspondientes a las plumas largas 310 se lleva a cabo inicializando un conjunto de líneas correspondiente a las plumas largas, comprendiendo dicho conjunto la línea más larga de todas las que aparecen en la región obtenida en la etapa 200.

El conjunto se completa a continuación con otras líneas que pueden determinarse como sigue:

- para cada línea incluida en el conjunto de las líneas correspondientes a las plumas largas, la identificación del conjunto de líneas vecinas a la línea considerada, de acuerdo con el eje vertical o eje de ordenadas Y. En este sentido, se ha representado un ejemplo en la Figura 7 en donde se representa el eje Y y las líneas se indexan de arriba a abajo, mostrándose los índices a la derecha de cada línea. El número a la izquierda de cada línea muestra la clasificación de las líneas por orden de longitud. Por tanto, en el ejemplo de la Figura 7, la línea más larga es la de índice 2 y sus vecinas de acuerdo con el eje de ordenadas Y son las líneas indexadas 1, 3 y 4.

- Además, para cada línea vecina, se calcula un conjunto de parámetros que comprende:
 - o Una diferencia de longitud entre la línea considerada del conjunto y la línea vecina,
 - o Una distancia entre el centro de la línea considerada y el centro de la línea vecina, de acuerdo con el eje de abscisas X y el eje de ordenadas Y.
- Estos parámetros se comparan con umbrales predeterminados. El umbral en distancia es preferiblemente inferior al 25 %, por ejemplo comprendido entre el 10 y el 25 %, por ejemplo igual al 15 %. El umbral en distancia entre el centro de cada línea de acuerdo con el eje Y es preferiblemente inferior al 50 % de la longitud de la línea considerada (la línea correspondiente a una pluma larga), por ejemplo igual al 30 % de la longitud de esta línea. El umbral en distancia entre el centro de cada línea de acuerdo con el eje X es preferiblemente inferior al 50 % de la longitud de la línea considerada, preferiblemente inferior al 30 %, por ejemplo igual al 25 %. Si estos tres parámetros son

inferiores a sus umbrales respectivos, la línea vecina es identificada como correspondiente a una pluma larga y añadida al conjunto.

El método se repite hasta que no se añada ninguna línea vecina al conjunto de las líneas correspondientes a plumas largas.

En una modalidad, las otras líneas son automáticamente consideradas líneas correspondientes a plumas cortas. Sin embargo, para mayor precisión, el método comprende una identificación 320 de las líneas correspondientes a las plumas cortas. Esta identificación se lleva a cabo, para cada línea correspondiente a una pluma larga del conjunto formado anteriormente, siguiendo los índices de posición de acuerdo con el eje de ordenadas Y, es decir, comenzando por la línea situada en la posición vertical máxima del conjunto, y comprende:

- identificación, entre las líneas que no pertenecen al conjunto de líneas correspondiente a las plumas largas, de líneas vecinas a la línea considerada, En el ejemplo de la Figura 7, no se identificaría ninguna vecina para la línea de índice 1, pero se

identificaría la línea vecina de índice 3 para la línea de índice 2.

- Para cada línea vecina de la línea considerada, se calcula a continuación una diferencia de longitud entre la línea considerada y la línea vecina, una distancia de acuerdo con el eje vertical entre las dos líneas, y una distancia de acuerdo con el eje horizontal entre un extremo proximal o distal de la línea considerada y un extremo distal, o respectivamente proximal, de la línea vecina, de acuerdo con la posición relativa en el eje X de las líneas más largas con respecto a las líneas más cortas.

El "extremo distal" designa al extremo más alejado del origen de referencia de acuerdo con el eje X, y el "extremo proximal", al extremo más próximo. Si, como en el ejemplo de la Figura 7, las líneas más cortas de la región obtenida tras el tratamiento 200 se sitúan próximas a los extremos distales de las líneas más largas, se calcula una distancia entre el extremo distal de la línea considerada y el extremo proximal de la línea vecina. Si por el contrario las líneas más cortas son vecinas de los extremos proximales de las líneas más largas, se calcula una distancia entre el

extremo proximal de la línea considerada y el extremo distal de la línea vecina.

- Estos parámetros se comparan con umbrales determinados. El umbral para la diferencia de longitud está comprendido preferiblemente entre el 50 y el 80 % de la longitud de la línea considerada, por ejemplo igual al 60 %. El umbral en distancia de acuerdo con el eje de ordenadas Y es preferiblemente inferior al 50 % de la longitud de la línea considerada, por ejemplo igual al 30 %. El umbral en distancia de acuerdo con el eje X entre el extremo proximal, o respectivamente distal de la línea considerada y el extremo distal, o respectivamente proximal, de la línea vecina, es inferior al 50 % de la longitud de la línea considerada, por ejemplo igual al 50 %. Si estos tres parámetros son inferiores a sus umbrales respectivos, la línea vecina se identifica como correspondiente a una pluma corta.

Una vez identificadas las líneas correspondientes a las plumas largas y las líneas correspondientes a las plumas cortas, el método puede comprender un cálculo 330 de un

conjunto de parámetros a partir de la región de interés producto del tratamiento 200, suministrándose a continuación estos parámetros a un modelo de clasificación entrenado para determinar el sexo macho o hembra del pollo.

En las modalidades, estos parámetros comprenden al menos el número de líneas correspondiente a las plumas largas y el número de líneas correspondiente a las plumas cortas.

Además, los parámetros pueden comprender un ángulo medio entre las líneas y la horizontal, y una separación o distancia media, medida verticalmente (eje Y) entre dos líneas adyacentes.

En las modalidades, los parámetros utilizados para el modelo pueden comprender además uno, o varios, o cualquier combinación entre el conjunto de parámetros siguientes:

- posición horizontal y/o vertical mínima, máxima y/o media de los centros de las líneas,
- distancia mínima, media y/o máxima, horizontal y/o vertical, entre el centro de dos líneas consecutivas,
- longitud mínima, media y/o máxima de las líneas correspondientes a las plumas largas,
- longitud mínima, media y/o máxima de las líneas correspondientes a las plumas cortas,

- intensidad media de los píxeles de una línea correspondiente a una pluma corta,
- intensidad media de los píxeles de una línea correspondiente a una pluma larga,
- diferencia de intensidad media de los píxeles entre las líneas correspondientes a las plumas largas y las líneas correspondientes a las plumas cortas,
- situación con respecto al eje horizontal de cada línea,
- un ángulo mínimo, medio y/o máximo entre dos líneas,
- una distancia mínima, media y/o máxima entre los extremos proximales de dos líneas correspondientes a una pluma larga y una línea correspondiente a una pluma corta situada entre estas,
- una distancia mínima, media y/o máxima entre los extremos distales de dos líneas correspondientes a una pluma larga y una línea correspondiente a una pluma corta situada entre estas.

Los parámetros calculados después de la etapa 300 se suministran a un modelo entrenado para determinar el sexo

del pollo, estando entrenado el modelo de forma que haya dos clases de salidas macho/hembra o de forma alternativa, dos clases que comprenden un primer sexo y una clase indeterminada.

El modelo utilizado es, por ejemplo, aunque no de forma limitativa, un árbol de decisión.

Como se ha indicado anteriormente, el modelo se entrena en una base de datos de imágenes de alas de pollo anotadas. Preferiblemente, las imágenes anotadas son imágenes sometidas al tratamiento de obtención de líneas de la etapa 200, y para las que también se llevan a cabo las etapas de determinación de las líneas correspondientes a las plumas largas y de las líneas correspondientes a las plumas cortas, y de obtención de los parámetros 300, para que estos parámetros puedan suministrarse al modelo para su entrenamiento.

La anotación, es decir, la atribución a la región de interés considerada de un carácter macho o hembra del pollo, es llevada a cabo por un operario experimentado en función del número de plumas largas y de plumas cortas visibles en la región de interés considerada.

Esta anotación puede comprender también un grado de certidumbre asociado al sexo determinado, que también puede ser indicado por el operario. Por ejemplo, en una

imagen que comprende 5 plumas largas y 0 plumas cortas, la anotación podrá ser "macho; 100 %". De acuerdo con otro ejemplo, en una imagen que comprende 4 plumas largas y 2 plumas cortas, la anotación podrá ser "hembra, 100 %". El grado de certidumbre está comprendido preferiblemente entre el 60 y el 100 % y en los casos más inciertos, la anotación no determina el sexo. De acuerdo con un tercer ejemplo adicional, en una imagen que comprende 3 plumas largas y 1 pluma corta, la anotación podrá ser "indeterminado". Este tipo de imagen no se conserva para el entrenamiento del modelo.

En una modalidad en donde se obtienen varias imágenes para un mismo pollo, por ejemplo al menos 20 imágenes, puede llevarse a cabo el tratamiento descrito anteriormente para cada imagen. Se obtiene así para cada imagen un resultado relativo al sexo del pollo, y el sexo del pollo se determina a continuación mediante un voto mayoritario, es decir, el resultado obtenido con mayor frecuencia, entre los resultados obtenidos para el conjunto de imágenes del mismo pollo.

En una variante, los parámetros obtenidos de cada imagen pueden suministrarse al modelo entrenado, y la determinación del sexo del pollo se hace mediante un voto mayoritario.

A continuación se muestran los resultados experimentales referidos a la aplicación del método descrito anteriormente que incluye la realización de las etapas 200 y 300 y la aplicación de un modelo entrenado de tipo árbol de decisión, en una población paritaria de 10.000 pollos. Los parámetros obtenidos de las imágenes y utilizados en esta experimentación son:

- el número de plumas largas y cortas,
- el ángulo medio entre las líneas y la horizontal,
- la distancia media de acuerdo con el eje Y entre dos líneas adyacentes, y
- el conjunto de los parámetros adicionales listados enumerados anteriormente en el párrafo 92.

[Tabla 1]

Hembras	Hembras detectadas	Desconocido	Tasa de error	Tasa de detección
5000	4350	650	4,5 %	86,99 %
Machos	Machos detectados	Desconocido	Tasa de error	Tasa de detección
5000	3500	1500	4,2 %	70 %
Total	Detecciones corregidas	Desconocido	Tasa de error	Tasa de detección
10000	7850	2150	4,35 %	78,5 %