

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 908 430**

51 Int. Cl.:

G06T 7/62 (2007.01)

G01S 15/96 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2017** **E 17197860 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.01.2022** **EP 3316220**

54 Título: **Procedimiento para la determinación de biomasa de atunes en una zona de agua y sistema correspondiente**

30 Prioridad:

26.10.2016 ES 201631379

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.04.2022

73 Titular/es:

BALFEGÓ & BALFEGÓ S.L. (33.3%)
Pol. Ind. Edifici Balfegó
43860 L'Ametlla de Mar, Tarragona, ES;
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
(33.3%);
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (33.3%)

72 Inventor/es:

ANDREU GARCÍA, GABRIELA;
ATIENZA VANACLOIG, VICENTE;
ESPINOSA ROSELLÓ, VÍCTOR;
ESTRUCH FUSTER, VICENTE DOMINGO;
MUÑOZ BENAVENT, PAU;
ORDÓÑEZ CEBRIÁN, PATRICIA;
PÉREZ ARJONA, ISABEL;
PUIG PONS, VICENTE;
SOLIVERES GONZÁLEZ, ESTER;
VALIENTE GONZÁLEZ, JOSÉ MIGUEL;
SANTAELLA ÁLVAREZ, ELADIO y
DE LA GÁNDARA GARCÍA, FERNANDO

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 908 430 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la determinación de biomasa de atunes en una zona de agua y sistema correspondiente

5 **Campo de la invención**

La invención se sitúa en el campo de las actividades piscícolas sostenibles.

10 Más concretamente, la invención se refiere a un procedimiento para la determinación de biomasa de atunes en una zona de agua según la reivindicación 1.

La invención también se refiere al sistema correspondiente. En el contexto de esta invención, el concepto de biomasa se extiende también a medidas tales como el número de individuos y su tamaño.

15 **Estado de la técnica**

Durante los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo por parte de las autoridades y sobre todo de los pescadores y productores para favorecer la recuperación del stock de atún rojo. Ello ha implicado tomar medidas en términos de la adecuación del calendario, el tamaño mínimo y las cuotas de pesca. Uno de los sistemas existentes se basa en la captura de ejemplares adultos vivos una vez han desovado, y su engorde posterior en jaulas marinas, con una alimentación controlada, de forma que los ejemplares se pueden sacrificar según la demanda del mercado, ecualizando así el número de capturas y disminuyendo el impacto de las mismas en fases críticas del crecimiento de los atunes. De esta forma, los atunes se localizan y capturan rodeándolos con unas redes de cerco para luego ser transferidos a unas jaulas de transporte y de allí a las granjas de engorde. En aras de la conservación, los gobiernos de cada zona, por ejemplo, en el seno del ICCAT (Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico) regulan el número de ejemplares y la biomasa máximos que es posible capturar, por lo que se hace imprescindible un conteo y una estimación del tamaño que permita el control de dichas cuotas.

30 Los sistemas comerciales actuales se basan en un conteo de número de ejemplares y de su tamaño basado en un análisis de imágenes, ya sea automático, con asistencia humana acotando el tamaño de la silueta de los atunes, o incluso totalmente manual. Un ejemplo ampliamente conocido es el sistema VICASS®. A partir del tamaño se realiza un cálculo de peso utilizando un algoritmo establecido a partir de las regulaciones pesqueras de cada zona geográfica.

35 Sin embargo, este tipo de sistemas presentan una serie de inconvenientes, tales como el tiempo requerido para obtener los resultados, la precisión de los mismos, y la variabilidad en los resultados que depende fuertemente de la persona que asiste el sistema y de lo optimista o pesimista que sea acotando manualmente el tamaño de la silueta de los ejemplares.

40 Algunos documentos conocidos relacionados con el estado de la técnica se divulgan a continuación.

El documento V. Puig ET AL. "*Biomass estimation of bluefin tuna in sea cages by the combined use of acoustic and optical techniques*", Vol. Sci. Pap. ICCAT, 2012-01-01, se refiere a una instalación experimental para estimar la biomasa de atunes rojos en enjaulados (*Thunnus thynnus*) en la costa mediterránea española. Los objetivos son monitorizar atunes individuales durante todas las etapas de crecimiento, para controlar la transferencia de peces capturados en redes de cerco a jaulas de remolque y para poder estimar el número total de ejemplares y la biomasa transferida. Para hacerlo, el documento propone un sistema combinado de técnicas acústicas y ópticas (ambas no intrusivas), con el fin de obtener valores directos de *acoustical target strength* (TS) e información sobre la orientación de los atunes dentro del haz acústico y su tamaño. Para conseguir información completa, las mediciones ventrales y dorsales se realizan utilizando en un primer intento una ecosonda científica múltiple con dos transductores de haz dividido de 200 KHz, mientras que un sistema de video estereoscópico proporciona información óptica y permite estimar el tamaño y el peso de los ejemplares. Los resultados preliminares indican que este uso combinado de técnicas proporciona una información precisa para determinar el TS en función de la orientación de los peces y para la monitorización adecuada d atunes en jaulas flotantes.

Puig Pons ET AL: "Monitorización y medida de atunes en jaulas mediante el uso combinado de técnica acústicas y ópticas", Tesina Master en Ingeniería Acústica, 2010-01-01, presenta una instalación experimental diseñada para monitorizar el crecimiento de los atunes rojos (*Thunnus thynnus*) en jaulas. El estudio se llevó a cabo en jaulas que el IEO tiene en las costas de Cartagena (Murcia, España). Este estudio está integrado en el programa europeo SELFDOTT (Del cultivo basado en capturas al cultivo independiente y la domesticación del atún rojo, *Thunnus thynnus*). El principal objetivo es conocer el estado de los individuos alojados en jaulas de reproducción, por medio de la combinación de técnicas ópticas y acústicas, pero no intrusivas). Esto se lleva a cabo utilizando una ecosonda, equipada con un multiplexor y dos transductores de haz dividido de 200 Hz para obtener mediciones dorsales y ventrales de los peces. Por otro lado, los autores utilizaron un sistema de video estereoscópico, dispuesto dentro de la jaula, que proporciona información visual sobre el comportamiento de los atunes y les

permite estimar la longitud de algunos de ellos al atravesar el haz acústico. Según los autores, las mediciones obtenidas les permitirán establecer una relación entre el TS y el tamaño de los atunes.

El documento US 2011/292201 A1 (WESTPHAL WAYLON [US] ET AL) 2011-12-01 divulga una cámara de exploración subacuática que comprende: una cubierta externa, una puerta, un almacenamiento de memoria, una batería, un alojamiento interno que incluye un flash, un obturador, un cuadro de visualización, y un sensor sonar. Cuando el sensor sonar emite un impulso para detectar cualquier pez, tras la detección el flash y el obturador se disparan para tomar una imagen digital que pueda guardarse en un dispositivo de memoria. Tras tomar la imagen, aparecerá la fecha y la hora en el cuadro de visualización, y se transmitirá una notificación a un dispositivo portátil personal. La cámara de exploración permite que un usuario siga de manera remota el pez sin tener que monitorizar continuamente la cámara de exploración subacuática.

Descripción de la invención

La invención tiene como finalidad proporcionar un procedimiento para la determinación de biomasa de atunes en una zona de agua del tipo indicado al principio, que permita solventar los problemas expuestos anteriormente. Otro objetivo de la invención es proporcionar un sistema correspondiente.

Esta finalidad se consigue mediante un procedimiento para la determinación de biomasa de atunes en una zona de agua del tipo indicado al principio, con las características de la reivindicación 1.

En el contexto de la invención, dicha zona de agua es la zona de medida por la que atraviesan los atunes, puede presentar distintas formas en función de las características de la aplicación y de los medios de medida. Así, dado que los medios de medida se enfocan en una dirección ascendente, aunque no necesariamente totalmente vertical, dada la forma normal de nado de los atunes se obtienen medidas ventrales en las que el fondo de las imágenes es el máximo de claro debido a la luz solar y los atunes resultan en sombras, lo que aumenta el contraste y facilita la detección y medición. Además, también se ha constatado experimentalmente que esta perspectiva del cuerpo del atún es bastante estable a pesar de sus movimientos y giros al nadar. A la vez, se ha constatado experimentalmente que efectuar medidas acústicas ventrales facilita la identificación de ejemplares por dos motivos: el primero es que el máximo eco se consigue de la vejiga natatoria y desde la zona ventral, el sonido debe atravesar menos estructuras complejas hasta dicha vejiga, llegando más uniforme. En contrapartida, las medidas dorsales tienden a provocar una serie de ecos de estructuras más complejas tales como el esqueleto del pez, el cráneo, etc. junto con rebotes internos que pueden llegar a dificultar el obtener un modelo adecuado para la identificación. El segundo motivo es que, para identificar individuos, conviene situar la sonda a la distancia suficiente para evitar los efectos del campo cercano (*near field* en inglés), de forma que se reciba un eco con un frente de ondas lo más esférico posible. Así, en función de la aplicación, los peces están muy cerca de superficie, con lo que se hace imposible evitar el campo cercano con medidas acústicas dorsales. Otro beneficio añadido de las medidas ventrales es que, en este caso, las ondas rebotan en la zona con más acumulación de grasa, lo que permite también estimar el llamado factor de condición de los atunes, es decir, la cantidad de grasa que presentan. En el contexto de este documento se habla de ecograma como una representación de las medidas de eco acústico en función del tiempo, no únicamente para un instante.

La combinación de medidas acústicas y ópticas tiene el efecto de obtener lo mejor de ambas, así las medidas acústicas permiten identificar rápidamente el número de ejemplares, incluso en condiciones de turbidez, mientras que las medidas ópticas, con el máximo de contraste disponible, permiten ver los tamaños de los atunes e inferir de ello su peso. La combinación de ambos tipos de medidas puede incluso llegar a ser dependiente, de forma que se identifiquen correlaciones de ejemplares entre el ecograma y la secuencia de imágenes.

Determinar dicho valor de peso de atunes comprende:

- seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes;
- determinar un cálculo de valor de tamaño para cada uno de dichos atunes seleccionados;
- determinar un cálculo de valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados a partir de dicho valor de tamaño; y
- determinar dicho valor de peso de atunes como el valor medio de dicho valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados; en el que dicho valor de biomasa se determina como la multiplicación de dicho valor de número de atunes por dicho valor de peso de atunes.

Dicha secuencia de imágenes comprende una pluralidad de fotogramas y en el que seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes comprende las etapas siguientes:

- segmentar dichos fotogramas para obtener unos primeros objetos candidato;

- filtrar dichos primeros objetos candidato por sus características geométricas, obteniendo dichos segundos objetos que son un subconjunto de dichos primeros objetos, en el que dichos segundos objetos se seleccionan como atunes.

5 Sobre la base de la invención definida en la reivindicación principal se han previsto unas formas de realización preferentes cuyas características se encuentran recogidas en las reivindicaciones dependientes.

En aras de la simplicidad, en el contexto de este documento y, a no ser que se indique lo contrario, se hablará de tamaño referido a las dimensiones, en su conjunto o a una combinación de las mismas. Las regulaciones locales
10 suelen indicar parámetros de conversión entre tamaño y peso estimado, por lo que este se trata de un cálculo aproximado pero que se acepta en la técnica. Así, se seleccionan los atunes de la secuencia de imágenes y se mide su tamaño para dichos atunes, obteniendo un peso. En función de la fórmula de cálculo final de la biomasa se pueden medir todos los atunes o únicamente los que se consideren más representativos, incluso evitando aquellos cuya silueta sea confusa, estén en situación de solapamiento, etc.

Preferentemente, dichos medios de captura de imágenes comprenden dos sensores ópticos situados a una posición relativa entre ellos, de forma que dicha secuencia de imágenes comprende una secuencia estereoscópica que comprende una primera sub-secuencia de imágenes y una segunda subsecuencia de imágenes, estando
15 ambas subsecuencias sincronizadas; en el que dicho procedimiento comprende las etapas adicionales de:

- seleccionar unos atunes presentes simultáneamente en dicha primera subsecuencia de imágenes y en dicha segunda subsecuencia de imágenes;
- determinar un cálculo de valor de distancia para dichos atunes seleccionados, utilizando los valores de
20 dicha posición relativa entre dicho primer sensor óptico y dicho segundo sensor óptico; y
- modificar dicho valor de tamaño para cada uno de los atunes seleccionados utilizando dicho valor de distancia.

De esta forma, se obtiene una secuencia de imágenes estereoscópicas, de las que se conoce la posición relativa entre los sensores ópticos, por ejemplo, cámaras de video. En cada fotograma existen dos imágenes desde
30 ángulos distintos, lo que permite inferir también la distancia a la que se encuentra el pez. Esto es especialmente ventajoso dado que los atunes pueden desplazarse a múltiples niveles y utilizar una distancia media puede tener un impacto negativo en la calidad de la medida. Al utilizar dos cámaras, mejora la medición de distancia e incluso
35 puede llegarse a correlar la imagen óptica con el ecograma. En aras de la simplicidad, no se detallan aquí los procedimientos de calibración para sistemas de imagen estereoscópica dado que son ampliamente conocidos en la técnica y que deben efectuarse previamente a las mediciones.

Preferentemente, seleccionar unos atunes presentes simultáneamente en dicha primera subsecuencia de imágenes y en dicha segunda subsecuencia de imágenes comprende seleccionar dos puntos característicos de
40 cada atún seleccionado en una de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, siendo dichos dos puntos característicos preferentemente la punta de la cabeza y la punta de la cola, y proyectar dichos dos puntos en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, a través de unas líneas epipolares; de forma que se seleccionan aquellos atunes con dichos dos puntos característicos en una de entre
45 dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia que se corresponden con otros dos puntos característicos situados en dichas líneas epipolares en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia.

La utilización de geometría epipolar es conocida para extraer información de posición tridimensional a partir de
50 unas imágenes estereoscópicas. Así se seleccionan aquellos atunes que aparecen en las dos subsecuencias y cuyos puntos están alineados según dichas líneas epipolares, lo que es condición necesaria para que se trate del mismo elemento. En esta forma preferente, la elección de dos puntos tiene en cuenta la dirección de nado y la posición de uso de los medios de captura de imágenes, de manera que al usar los puntos de cabeza y cola se trabaja con la máxima distancia para el pez, lo que mejora la precisión.

Preferentemente, determinar un cálculo de valor de distancia y modificar dicho valor de tamaño para dichos atunes seleccionados comprende las etapas de:

- corregir unos efectos de distorsión de las lentes en dicha secuencia de imágenes;
- obtener el valor de distancia por triangulación de cada par de puntos de dicha secuencia de imágenes, en
60 el que dicho par de puntos comprende un punto en una de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, y un punto correspondiente en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia; y
- modificar dicho valor de tamaño para cada atún seleccionado en base a dicho valor de distancia de dichos
65

pares de puntos correspondientes a dicho atún seleccionado.

Así, la corrección de defectos ópticos de las lentes permite el uso de lentes de gran angular o incluso las llamadas de ojo de pez, que típicamente presentan una fuerte distorsión, especialmente en sus extremos y normalmente en forma de barril. Usar las imágenes directas supondría inexactitudes en la determinación de tamaño. Por otro lado, se obtiene una forma corregida del atún en función de la distancia, lo que repercute en la precisión de la determinación de tamaño.

Así se segmentan dichos objetos candidato por métodos conocidos en la técnica, por ejemplo, mediante el uso de los llamados *b/obs*. Dada las características de las imágenes, el valor de intensidad de luz puede no ser constante, lo que podría suponer dificultades para determinar la silueta del atún, por este motivo es una solución preferente el uso de contraste local, dado que, en cualquier caso, el fondo es más claro que el pez. Esta estrategia permite un recorte eficaz. A continuación, se eliminan aquellos objetos que, por sus características geométricas tales como dimensiones o forma, se alejan demasiado de lo que podría ser un atún, por ejemplo, ecos relativos a las estructuras de las redes, barcos, etc.

Preferentemente, seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes comprende la etapa adicional de:

- ajustar un modelo de imagen de atún a dichos segundos objetos, de forma que, si para un objeto el error de ajuste supera un valor umbral de error, se descarta dicho objeto, mientras que en caso contrario se considera que dicho objeto es un atún seleccionado y se obtiene un modelo ajustado;

y en el que determinar un cálculo de valor de tamaño para cada uno de dichos atunes seleccionados comprende obtener dicho valor de tamaño a partir de dicho modelo ajustado de dicho atún seleccionado.

Así, se parte de un modelo que representa la forma de un atún y se intenta ajustar ese modelo en los objetos candidato seleccionados. Si el objeto no se adapta al modelo de atún, se descarta, esto es, en función del tipo de modelo se calcula un error de ajuste y si ese error supera un umbral, el objeto se descarta. Dicho umbral será entonces dependiente del modelo en sí, y será necesario que el experto obtenga un valor umbral experimental que de los mejores resultados. A modo de ejemplo no limitativo, si el modelo es una silueta de puntos, el error puede ser la suma cuadrática de las distancias de esos puntos a la silueta del objeto candidato. Para los objetos que cumplen el criterio del modelo de atún, se ajusta el modelo a la forma particular y se usa ese modelo ajustado para obtener el tamaño, como ejemplo no limitativo, un modelo de atún que contemple la torsión puede permitir medir el tamaño del atún en base a la curva de torsión.

Preferentemente, dicho modelo de imagen de atún comprende un modelo por segmentos en el que se utilizan unos puntos, llamados vértebras, v_i , situados en el eje del atún, preferentemente 20 puntos, numerados de la vértebra 0 (v_0) que corresponde a la punta de la cabeza, hasta la vértebra 19 (v_{19}) que corresponde al extremo de la cola. Es decir, cada punto o vértebra v_i del modelo está situado sobre la columna vertebral del modelo, y puede tener una distribución uniforme o ser variable, por ejemplo, para perfilar mejor características tales como las aletas o el pedúnculo del pez.

Preferentemente, se realiza una estimación del contorno del atún relacionando cada una de dichas vértebras, v_i , con un punto estimado del contorno, k_i , preferentemente mediante unos coeficientes que relacionan la posición de cada una de dichas vértebras v_i con la distancia a la vértebra v_i de cada uno de dichos puntos estimados del contorno k_i , preferentemente los coeficientes siguientes:

$$c^u = [0, 0.7, 1.15, 1.35, 1.55, 1.65, 2.0, 2.5, 2.8, 3.15, 1.7, 1.55, 1.35, 1.1, 0.9, 0.7, 0.55, 0.45, 0.5, 0.75]$$

donde los valores están ordenados consecutivamente de v_0 a v_{19} .

Así, se utiliza un modelo en el que el que las longitudes del pez sirven también para determinar la anchura. Los valores de coeficientes se han obtenido de forma experimental y corresponden a una situación sin flexión, en el que el pez está recto.

Preferentemente, dicho modelo asigna un valor distinto de contribución de cada vértebra dada una flexión global, θ , preferentemente siguiendo la siguiente formulación:

$$\sum_{i=0}^{i=19} d\theta_i = \theta; d\theta_i = \frac{\theta * \Delta\theta_i}{\sum_{i=0}^{i=19} \Delta\theta_j}; \sum_{i=0}^{i=19} \Delta\theta_i = 16; \forall v_i \in v;$$

donde θ representa la flexión global y los valores de los coeficientes $\Delta\theta_i$ representan la contribución de la flexión de cada vértebra v_i a la flexión global θ , preferentemente tomando los valores siguientes:

$$\Delta\theta = [0, 0, 0.64, 0.64, 0.48, 0.48, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.48, 0.64, 0.8, 0.96, 1.12, 1.28, 1.44, 1.92, 2.4, 2.72]$$

donde los valores están ordenados consecutivamente de v_0 a v_{19} .

5 Así es posible obtener una medida del tamaño a partir del modelo incluso cuando el atún está flexionado. Además de permitir identificar mejor los peces en las imágenes obtenidas al adaptarse a la forma de nado de los atunes según las observaciones.

10 Preferentemente, dicho modelo comprende también unos parámetros de traslación y de rotación. Con lo que el modelo puede ser rotado un ángulo y movido por la imagen, lo que permite identificar los peces en cualquier posición.

Preferentemente, determinar dicho valor del número de atunes que han atravesado dicha zona de agua durante dicho intervalo de medida utilizando dicho ecograma comprende las etapas de:

- 15 - segmentar regiones de dicho ecograma aplicando unos criterios de morfología matemática, considerando que dicho ecograma es una imagen;
- obtener unas regiones segmentadas; y
- 20 - determinar dicho valor del número de atunes como el valor del número de dichas regiones segmentadas.

De esta forma, se trata el ecograma como si fuese una imagen y se utilizan técnicas de segmentación de imágenes para identificar las regiones susceptibles de ser un atún.

25 Preferentemente, dichos criterios de morfología matemática comprenden unos modelos de traza de ecograma para los atunes, de forma que dichas regiones se segmentan por similitud morfológica con dichos modelos de traza. Así, se utiliza un criterio de forma que debe tener el eco de un atún, lo que permite afinar el resultado e incluso separar zonas de solapamiento que de otra forma serían complejas. El modelo morfológico de traza de ecograma puede obtenerse en base a medidas periódicas de atunes reales de los que se pueda tener una constatación de localización, lo que permite mejorar dicho modelo y con él la segmentación del ecograma.

30 En el contexto de las medidas de sondeo acústico, se conoce como *target strenght*, o TS por sus siglas en inglés, a una medida del coeficiente de reflexión de un objetivo de sonar. Generalmente su valor es un número negativo de decibelios que varía con las características del objetivo, en este caso un atún.

35 Preferentemente, se eligen unos parámetros de control que comprenden en uno o más de la lista que consiste en:

- márgenes de *target strenght*, TS; y
- 40 - márgenes de tamaño de los atunes;

donde al segmentar regiones de dicho ecograma se descartan aquellas regiones que corresponden a valores fuera de dichos parámetros de control.

45 De esta forma, se descartan aquellos ecos que se salen de estos patrones, por ejemplo, por tener demasiado TS o demasiado poco, o por ser demasiado grandes o pequeños. De esta forma se pueden eliminar los ecos provenientes de las estructuras, barcos, otros peces, etc.

Preferentemente, comprende la etapa adicional de procesar dicho ecograma para compensar un efecto en dicho ecograma provocado por alguno de los parámetros comprendidos en la lista que consiste en:

- 50 - temperatura del agua;
- salinidad del agua;
- pH del agua.

55 Así, se realizan medidas de dichos parámetros del agua y se procesa el ecograma para compensar el efecto que esos parámetros físicos tienen sobre él, al influir por ejemplo en la velocidad de transmisión del sonido, lo que resultaría en ecos que están en una localización aparente más cercana o más lejana de la real.

60 Preferentemente, se dispone una estructura de soporte que une una primera jaula con una segunda jaula, donde dicha estructura de soporte presenta una primera ventana de paso que comunica con dicha primera jaula y una segunda ventana de paso que comunica con dicha segunda jaula, definiendo una zona de paso para atunes entre dicha primera ventana y dicha segunda ventana, una dirección de paso que va horizontalmente de dicha primera jaula a dicha segunda jaula, quedando así definidas una primera dirección que coincide con dicha dirección de paso, y una segunda dirección que es horizontal y perpendicular a dicha primera dirección; en el que dicha estructura presenta un primer perfil mirando en dicha primera dirección, y un segundo perfil mirando en dicha segunda dirección; y en el que dicho intervalo de medida comprende un tiempo en el que una pluralidad de atunes

se desplaza de dicha primera jaula a dicha segunda jaula en dicha dirección de paso.

Así, el procedimiento puede ser utilizado para el cálculo de biomasa en operaciones de transferencia de atunes. En el contexto de la invención se habla indistintamente de jaula, red de cerco o granja. Los atunes pasan de una jaula a otra a través de una estructura configurada para ello y que sirve de soporte físico para sujetar los elementos técnicos de la invención.

Preferentemente, dicho sensor acústico presenta un haz de detección en forma de cortina con un lado ancho y un lado estrecho, dicho sensor dispuesto de forma que dicho lado ancho se extiende en dicha segunda dirección presentando un segundo ancho de haz tal que cubre toda dicha zona de agua, y dicho lado estrecho se extiende en dicha primera dirección presentando un primer ancho de haz menor de 5°, preferiblemente menor de 2°, más preferiblemente entre 1° y 0,5°.

Así el sensor acústico cubre toda la zona de paso, de forma que detecta todos los peces que pasan por esa zona, pero se intenta medir los peces una sola vez mientras atraviesan la cortina. En el contexto de la técnica se considera que el ancho de haz viene definido por una caída de potencia de -3dB.

Preferentemente, dicho sensor acústico emite una ráfaga de pulsos con una duración de ráfaga inferior a 100 microsegundos, más preferentemente inferior a 50 microsegundos. El uso de pulsos muy cortos junto con un haz de cortina que los peces atraviesan permite realizar unos "cortes" de respuesta acústica del pez, con un eco que sea claro incluso a velocidades altas de desplazamiento y superposición, como puede suceder con los atunes, lo que mejora la resolución espacial y permite distinguir casos de superposición de peces. De forma alternativa o complementaria, es preferente el uso de pulsos de frecuencia modulada, junto con técnicas de correlación del eco con el pulso emitido, lo que se conoce como técnica de compresión del pulso. Esto aumenta todavía más la relación señal-ruido, SNR, así como la resolución espacial de la estructura interna de las trazas de cada pez, mejorando así la distinción entre peces.

Preferentemente, dicho sensor acústico emite pulsos que se repiten con una frecuencia mayor o igual que 10 Hz, preferentemente entre 30 y 40 Hz. Así, por ejemplo, con una frecuencia de 30 Hz en la que se repite el ciclo de las ráfagas de pulsos de detección (*pulse repetition rate*, prr, en inglés), para peces de una longitud de 2m que se desplacen a una velocidad máxima de 60 km/h cada pez recibe por lo menos dos pulsos, y por lo tanto se generan dos cortes en el ecograma, lo que se ha constatado experimentalmente que es un valor mínimo para garantizar en lo posible la detección. El límite máximo viene también impuesto por la distancia de la sonda, por ejemplo, para una distancia de 16m hasta la parte superior de la zona de paso de los peces, el sonido cubre un total de 32m de ida y vuelta, que a la velocidad típica de propagación del sonido en el agua de 1500 m/s da 21,3 milisegundos. Así, la frecuencia de ráfaga (ppr) máxima que evite el solapamiento de señales entre ciclos estaría alrededor de 46 Hz.

Preferentemente, dicho sensor acústico comprende una ecosonda y un transductor de haz ancho, en el que dicho segundo ancho de haz tiene entre 40° y 80°, preferentemente entre 45° y 55°, más preferentemente 49°. Siendo estos parámetros experimentales que se adecúan a las medidas experimentalmente más aconsejables de la zona de paso de los atunes para el caso de las aguas mediterráneas y para el comportamiento del atún rojo, así como a la profundidad adecuada a la que deben colocarse los medios de medida. En la técnica son comunes las zonas de paso de 10m de profundidad por 10m de ancho. Por otro lado, no conviene situar los medios de captura de imagen demasiado profundos, pues la propia turbidez del agua repercute en la claridad de las imágenes. Así, no resultan convenientes profundidades mayores de 16m. Por simple trigonometría, se determina que, en este caso, un transductor centrado debería tener un haz ancho de 80°, sin embargo, el coste de un transductor con estas características puede resultar muy elevado. Por este motivo se elige un transductor de coste menor, alrededor de unos 50° que, pese a que no llega a cubrir toda la superficie, a la práctica únicamente quedan fuera las esquinas inferiores, por donde es muy improbable que pasen los peces dado su comportamiento observado. Además, generalmente se habla de ancho de haz como aquel ángulo delimitado por una caída de -3dB, por lo que, aunque atenuados, se siguen recibiendo ecos de distancias angulares mayores a los del ancho de haz. Utilizando los mismos criterios, el experto no tendrá problema en determinar los valores adecuados para otras situaciones.

Preferentemente, dichos medios de medida se posicionan en el fondo interior de dicha estructura de soporte, centrados respecto a dicha segunda dirección, y en el que dicho sensor acústico se posiciona dirigido en dirección vertical, de forma que dicha zona de agua está comprendida en dicha zona de paso. Así la localización de los atunes se realiza por una cortina estrecha vertical, de manera que se intenta recibir un eco lo más ventral posible. La posición centrada es especialmente ventajosa si la estructura es simétrica respecto a dicha segunda dirección con una zona de paso también simétrica.

Preferentemente, dichos medios de medida se posicionan centrados respecto a dicha primera dirección. Lo que resulta especialmente ventajoso para alejar en lo posible las medidas acústicas del interior de dichas jaulas en las que puede haber atunes. Esto repercute en menores interferencias y en imágenes también más adecuadas.

Preferentemente, dicho segundo perfil de dicha estructura de soporte presenta una forma de rombo, con un vértice

superior y un vértice inferior, y en el que dichos medios de medida se posicionan en dicho vértice inferior y dirigidos en dirección vertical. Así, la forma de la estructura hace que esta se aleje de los medios de medida en la zona más próxima a éstos, minimizando la interferencia con los mismos. A su vez, el vértice superior estrecho de la estructura minimiza la zona de paso de los atunes, por lo que resulta más sencillo que estos se dirijan rápidamente de una jaula a otra, sin quedar dando vueltas en medio.

Preferentemente, dicha estructura de soporte presenta un segundo perfil en forma de pentágono con un vértice superior y una base plana inferior, en el que dichos medios de medida se posicionan en dicha base plana y en el que dichos medios de captura de imagen se posicionan dirigidos en dirección a dicha primera ventana o dicha segunda ventana. Evitando así la interferencia de las estructuras de flotación de las jaulas que se juntan precisamente en el vértice superior de la estructura de soporte, lo que resulta en un menor contraste en las imágenes debido al bloqueo de la luz solar. Dispuestos de esta forma, el sensor acústico mide en vertical y los medios de captura de imágenes obtienen dichas imágenes con la ventana de fondo por la que entra luz solar sin interferencias. En contrapartida, ambos elementos quedan desalineados y la medida de tamaño de atunes deberá tener en cuenta el ángulo en la que están tomadas las imágenes.

Preferentemente, dicho segundo perfil de dicha estructura de soporte presenta una forma rectangular, con una parte inferior y una parte superior planas, y en el que todos dichos medios de medida se posicionan en dicha parte inferior y dirigidos en dirección vertical. Lo que confiere una disposición simple y sin sombras, a costa de una mayor distancia entre jaulas. Esta disposición es preferida en caso de ejemplares cuyas características no supongan un problema para el paso de una jaula a otra por un pasillo relativamente largo.

Preferentemente, dichos medios de medida se disponen en el exterior de dicha estructura de soporte y dirigidos en dirección vertical, posicionados en dicha primera jaula de forma que dicha zona de agua está situada frente a dicha primera ventana, o bien en dicha segunda jaula de forma que dicha zona de agua está situada frente a dicha segunda ventana. De esta forma, la imagen y el ecograma pueden ser verticales y sin sombras. Esta configuración es preferida en casos donde las jaulas sean lo suficientemente grandes como para que los atunes que ya hayan pasado no interfieran en el conteo.

La invención también se refiere a un sistema para la determinación de biomasa de atunes en una zona de agua, que presenta unos medios de medida que comprenden un sensor acústico y unos medios de captura de imágenes, configurados para ser dispuestos sumergidos bajo dicha zona de agua, en posiciones conocidas y dirigidos en dirección ascendente, en el que durante un intervalo de medida en el que unos atunes atraviesan dicha zona de agua:

- dicho sensor acústico está configurado para realizar unas mediciones acústicas emitiendo unas señales acústicas y recibiendo unos ecos, generando así un ecograma; y
- dichos medios de captura de imágenes están configurados para realizar unas capturas de imagen, generando una secuencia de imágenes que contiene imágenes de dichos atunes;

comprendiendo además dicho sistema unos medios de análisis configurados para:

- determinar un valor del número de atunes que han atravesado dicha zona de agua durante dicho intervalo de medida utilizando dicho ecograma;
- determinar un valor de peso de atunes utilizando dicha secuencia de imágenes;
- determinar un valor de biomasa de atunes que han atravesado dicha zona de agua durante dicho intervalo de medida a partir de dicho valor del número de atunes y de dicho valor de peso de atunes.

Las características y efectos técnicos de dicho sistema son equivalentes a los del procedimiento antes descrito por lo que, en aras de la claridad, no se volverán a repetir aquí.

Determinar dicho valor de peso de atunes comprende:

- seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes;
- determinar un cálculo de valor de tamaño para cada uno de dichos atunes seleccionados;
- determinar un cálculo de valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados a partir de dicho valor de tamaño; y
- determinar dicho valor de peso de atunes como el valor medio de dicho valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados;

en el que dicho valor de biomasa se determina como la multiplicación de dicho valor de número de atunes por dicho valor de peso de atunes.

Dicha secuencia de imágenes comprende una pluralidad de fotogramas y en el que seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes comprende las etapas siguientes:

- segmentar dichos fotogramas para obtener unos primeros objetos candidato;
- filtrar dichos primeros objetos candidato por sus características geométricas, obteniendo unos segundos objetos que son un subconjunto de dichos primeros objetos, en el que dichos segundos objetos se seleccionan como atunes.

Preferentemente, dichos medios de captura de imágenes comprenden dos sensores ópticos situados a una posición relativa entre ellos, de forma que dicha secuencia de imágenes comprende una secuencia estereoscópica que comprende una primera subsecuencia de imágenes y una segunda subsecuencia de imágenes, estando ambas subsecuencias sincronizadas; en el que dichos medios de análisis están configurados para realizar las etapas adicionales de:

- seleccionar unos atunes presentes simultáneamente en dicha primera subsecuencia de imágenes y en dicha segunda subsecuencia de imágenes;
- determinar un cálculo de valor de distancia para dichos atunes seleccionados, utilizando los valores de dicha posición relativa entre dicho primer sensor óptico y dicho segundo sensor óptico; y
- modificar dicho valor de tamaño para cada uno de los atunes seleccionados utilizando dicho valor de distancia.

Preferentemente, seleccionar unos atunes presentes simultáneamente en dicha primera subsecuencia de imágenes y en dicha segunda subsecuencia de imágenes comprende seleccionar dos puntos característicos de cada atún seleccionado en una de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, siendo dichos dos puntos característicos preferentemente la punta de la cabeza y la punta de la cola, y proyectar dichos dos puntos en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, a través de unas líneas epipolares; de forma que se seleccionan aquellos atunes con dichos dos puntos característicos en una de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia que se corresponden con otros dos puntos característicos situados en dichas líneas epipolares en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia.

Preferentemente, determinar un cálculo de valor de distancia y modificar dicho valor de tamaño para dichos atunes seleccionados comprende las etapas de:

- corregir unos efectos de distorsión de las lentes en dicha secuencia de imágenes;
- obtener el valor de distancia por triangulación de cada par de puntos de dicha secuencia de imágenes, en el que dicho par de puntos comprende un punto en una de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, y un punto correspondiente en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia; y
- modificar dicho valor de tamaño para cada atún seleccionado en base a dicho valor de distancia de dichos pares de puntos correspondientes a dicho atún seleccionado.

Preferentemente, seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes comprende la etapa adicional de:

- ajustar un modelo de imagen de atún a dichos segundos objetos, de forma que, si para un objeto el error de ajuste supera un valor umbral de error, se descarta dicho objeto, mientras que en caso contrario se considera que dicho objeto es un atún seleccionado y se obtiene un modelo ajustado;

y en el que determinar un cálculo de valor de tamaño para cada uno de dichos atunes seleccionados comprende obtener dicho valor de tamaño a partir de dicho modelo ajustado de dicho atún seleccionado.

Preferentemente, determinar dicho valor del número de atunes que han atravesado dicha zona de agua durante dicho intervalo de medida utilizando dicho ecograma comprende las etapas de:

- segmentar regiones de dicho ecograma aplicando unos criterios de morfología matemática, considerando que dicho ecograma es una imagen;
- obtener unas regiones segmentadas; y

- determinar dicho valor del número de atunes como el valor del número de dichas regiones segmentadas.

5 Preferentemente, dichos criterios de morfología matemática comprenden unos modelos de traza de ecograma para los atunes, de forma que dichas regiones se segmentan por similitud morfológica con dichos modelos de traza.

Preferentemente, dichos medios de análisis están configurados para permitir la elección de unos parámetros de control que comprenden en uno o más de la lista que consiste en:

- 10
- márgenes de *target strenght*, TS; y
 - márgenes de tamaño de los atunes;

donde dichos medios de análisis están configurados para que al segmentar regiones de dicho ecograma descartar aquellas regiones que corresponden a valores fuera de dichos parámetros de control.

15 Preferentemente, dichos medios de análisis están adicionalmente configurados para procesar dicho ecograma para compensar un efecto en dicho ecograma provocado por alguno de los parámetros comprendidos en la lista que consiste en:

- 20
- temperatura del agua;
 - salinidad del agua;
 - pH del agua.

25 Preferentemente, la invención comprende además una estructura de soporte configurada para ser dispuesta en una posición de uso en la que une una primera jaula con una segunda jaula, donde dicha estructura de soporte presenta una primera ventana de paso que comunica con dicha primera jaula y una segunda ventana de paso que comunica con dicha segunda jaula, definiendo una zona de paso para atunes entre dicha primera ventana y dicha segunda ventana, una dirección de paso que va horizontalmente de dicha primera jaula a dicha segunda jaula, quedando así definidas una primera dirección que coincide con dicha dirección de paso, y una segunda dirección que es horizontal y perpendicular a dicha primera dirección; en el que dicha estructura presenta un primer perfil mirando en dicha primera dirección, y un segundo perfil mirando en dicha segunda dirección; y en el que dicho sistema está configurado de forma que el intervalo de medida comprende un tiempo en el que una pluralidad de atunes se desplace de dicha primera jaula a dicha segunda jaula en dicha dirección de paso.

35 Preferentemente, dicho sensor acústico presenta un haz de detección en forma de cortina con un lado ancho y un lado estrecho, de forma que en dicha posición de uso dicho sensor está dispuesto de forma que dicho lado ancho se extiende en dicha segunda dirección presentando un segundo ancho de haz tal que cubre toda dicha zona de agua, y dicho lado estrecho se extiende en dicha primera dirección presentando un primer ancho de haz menor de 5°, preferiblemente menor de 2°, más preferiblemente entre 1° y 0,5°.

40 Preferentemente, dicho sensor acústico está configurado para emitir unas ráfagas de pulsos que presentan una duración de ráfaga inferior a 100 microsegundos, más preferentemente inferior a 50 microsegundos.

45 Preferentemente, dicho sensor acústico está configurado para emitir unos pulsos que presentan una frecuencia de repetición mayor o igual que 10 Hz, preferentemente entre 30 y 40 Hz.

Preferentemente, dicho sensor acústico comprende una ecosonda y un transductor de haz ancho, en el que dicho segundo ancho de haz tiene entre 40° y 80°, preferentemente entre 45° y 55°, más preferentemente 49°.

50 Preferentemente, en dicha posición de uso dichos medios de medida se encuentran posicionados en el fondo interior de dicha estructura de soporte, centrados respecto a dicha segunda dirección, y en el que dicho sensor acústico se posiciona dirigido en dirección vertical, de forma que dicha zona de agua está comprendida en dicha zona de paso.

55 Preferentemente, en dicha posición de uso dichos medios de medida se encuentran posicionados centrados respecto a dicha primera dirección.

60 Preferentemente, dicho segundo perfil de dicha estructura de soporte presenta una forma de rombo, con un vértice superior y un vértice inferior, y en el que en dicha posición de uso dichos medios de medida se encuentran posicionados en dicho vértice inferior, y dirigidos en dirección vertical.

65 Preferentemente, dicha estructura de soporte presenta un segundo perfil en forma de pentágono con un vértice superior y una base plana inferior, en el que en dicha posición de uso dichos medios de medida se encuentran posicionados en dicha base plana y en el que dichos medios de captura de imagen se encuentran posicionados dirigidos en dirección a dicha primera ventana o dicha segunda ventana.

Preferentemente, dicho segundo perfil de dicha estructura de soporte presenta una forma rectangular, con una parte inferior y una parte superior planas, y en el que en dicha posición de uso todos dichos medios de medida se encuentran posicionados en dicha parte inferior y dirigidos en dirección vertical.

5 Preferentemente, en dicha posición de uso dichos medios de medida se encuentran posicionados en el exterior de dicha estructura de soporte y dirigidos en dirección vertical, posicionados en dicha primera jaula de forma que dicha zona de agua está situada frente a dicha primera ventana, o bien en dicha segunda jaula de forma que dicha zona de agua está situada frente a dicha segunda ventana.

10 La invención también abarca otras características de detalle ilustradas en la descripción detallada de una forma de realización de la invención y en las figuras que la acompañan.

Breve descripción de los dibujos

15 Las ventajas y características de la invención se aprecian a partir de la siguiente descripción en la que, sin carácter limitativo con respecto al alcance de la reivindicación principal, se exponen unas formas preferidas de realización de la invención haciendo mención de las figuras.

20 La figura 1 muestra un ejemplo de visualización conjunta de la secuencia de imágenes y el ecograma para una forma de realización de la invención.

La figura 2 muestra una representación gráfica de la forma de correlacionar un atún entre dos imágenes estereoscópicas a través de unas líneas epipolares.

25 La figura 3 muestra una secuencia de un procedimiento de segmentación de ejemplo para una imagen de la secuencia de imágenes.

La figura 4 muestra un modelo de atún de ejemplo.

30 Las figuras 5a, 5b y 5c muestran una secuencia de un proceso de adaptación al modelo de atún de unos objetos candidato.

La figura 6 muestra un ecograma de ejemplo.

35 La figura 7 muestra una región segmentada del ecograma de la figura 6.

La figura 8 muestra una representación esquemática de una forma de realización de la invención con una estructura en forma de rombo.

40 La figura 9 muestra una representación esquemática de una forma de realización de la invención con una estructura en forma pentagonal y los medios de captura de imagen dirigidos a la segunda ventana.

La figura 10 muestra una representación esquemática de una forma de realización de la invención con una estructura en forma pentagonal y los medios de captura de imagen dirigidos a la primera ventana.

45 La figura 11 muestra una representación esquemática de una forma de realización de la invención con una estructura en forma rectangular.

50 La figura 12 muestra una representación esquemática de una forma de realización de la invención con los medios de medida fuera de la estructura de soporte.

La figura 13 muestra una representación esquemática de una forma de realización de la invención en la que se añade una cámara de supervisión.

55 La figura 14 muestra una representación esquemática de la visión obtenida por la cámara de supervisión de la figura 13.

La figura 15 muestra un modelo de contorno del atún utilizada para crear un modelo en dos dimensiones.

60 La figura 16 muestra una distribución no equitativa de la flexión a lo largo de los segmentos de la columna vertebral de un ejemplo de modelo de atún.

La figura 17 muestra tres esquemas de posibles contornos de atún generados utilizando el modelo de ejemplo, considerando tres casos de flexión global del atún $\theta=15^\circ$, $\theta=30^\circ$ y $\theta=45^\circ$.

65 La figura 18 muestra una representación gráfica de los cinco parámetros del modelo del ejemplo que definen

el atún.

La figura 19 muestra un ejemplo real del proceso de detección de atunes por ajuste a un modelo de ejemplo.

5 Descripción detallada de unas formas de realización de la invención

En los ejemplos de realización descritos a continuación se utiliza un sistema para llevar a cabo el conteo de la biomasa, el tamaño y número de atunes para una zona (1). Para ello se usan unos medios de medida (2) compuestos de dos cámaras que actúan para obtener una secuencia de imágenes estereoscópicas con dos subsecuencias, y un sensor acústico compuesto de una ecosonda y un transductor, que genera un ecograma. Para su uso, se instalan los medios de medida (2) sumergidos en posición conocida y mirando en dirección ascendente, de modo que se realicen medidas ventrales de los atunes que atraviesan la zona de agua (1). El ecograma se utiliza para determinar el número de atunes, mientras que las imágenes se usan para determinar su talla y, en consecuencia, su peso.

En la figura 1, se puede observar un ejemplo de visualización en la que se muestran simultáneamente una imagen capturada por una de las cámaras de la secuencia de imágenes y un fragmento del ecograma para ese momento. Se puede apreciar que el contraste existente entre las siluetas de los atunes y el fondo pese a que debido a la turbidez llega un punto en el que dejan de verse claramente. En este ejemplo de realización tanto las cámaras como el transductor se encuentran en el fondo de una jaula de engorde, y enfocados en dirección vertical. En este ejemplo, el transductor no presenta un haz en forma de cortina, sino que se trata de un haz cónico o cardioide.

La figura 2 muestra una representación gráfica de un ejemplo de selección de atunes según la invención. En este ejemplo, se parte de dos fotogramas estereoscópicos, uno de cada subsecuencia de imágenes. A partir de dos puntos característicos (3) de un atún en un primer fotograma, en este caso la punta de la cabeza y la punta de la cola, se trazan unas líneas epipolares (4) en el segundo fotograma estereoscópico de la otra subsecuencia de imágenes y se buscan imágenes en las que sus dos puntos característicos (3) se sitúen sobre dichas líneas epipolares (4). De esta forma se crea una correspondencia entre el atún del primer fotograma y del segundo fotograma, y se considera que es el mismo. Dado que se conocen las posiciones relativas de las cámaras se puede triangular la distancia a la que se encuentra el atún y compensar la medida de tamaño considerando dicha distancia. Así mismo, se corrige el efecto de la distorsión de las lentes.

Según una forma de realización de ejemplo de la invención, partiendo de los fotogramas de la secuencia de imágenes se seleccionan unos objetos del mismo que corresponden a atunes. Para ello se utiliza una técnica de detección de *blobs* conocida en el ámbito de reconocimiento de imágenes por ordenador. La detección de las zonas que corresponden a un objeto candidato se realiza mediante criterios de contraste locales, ya que, pese a que la luminosidad del fondo y del pez puede variar, el fondo siempre resulta más claro que el pez. En la figura 3, se aprecia el fondo en la parte superior izquierda. La esquina inferior izquierda muestra las siluetas de los objetos candidatos mientras que en la zona inferior derecha se aprecian las zonas que corresponden a dichos objetos candidatos. A continuación, se realiza un filtrado por criterios geométricos de forma y tamaño descartando aquellos objetos que claramente no son atunes, o que no se podrán segmentar adecuadamente. En la parte superior derecha de la figura 3, se aprecian unas siluetas que corresponden a aquellos objetos de la imagen que se consideran atunes.

Otra forma de realización utiliza un modelo de atún para afinar más la selección de zonas. La figura 4 muestra un ejemplo simple de dicho modelo, otros ejemplos pueden incluir las aletas u otros elementos característicos de la silueta de los atunes. Así, la figura 5a muestra cómo se intenta encajar un modelo de atún en las zonas correspondientes a objetos candidato segmentados en el caso anterior. Una vez se obtiene la mejor posición para el modelo, se calcula el error de ajuste. En el caso del ejemplo, el modelo presenta una pluralidad de puntos de silueta, el error medido es la suma cuadrática de la distancia entre los puntos del modelo y los de la silueta del objeto candidato. Si este error es demasiado grande, el objeto candidato se descarta. En las Fig. 5a a 5c, se aprecia cómo, pese a todo, se ha llegado a confundir unas siluetas que realmente corresponden a dos atunes pequeños (o lejanos) con la de un atún de tamaño mayor. La mejora de estos casos se consigue mejorando también el modelo de atún a utilizar. En este ejemplo, el tamaño se deriva de las dimensiones del modelo para aquellos objetos candidatos que hayan sido considerados como atunes.

Para la forma de realización del ejemplo, se utilizan las estrategias de cálculo de distancia basadas en imágenes estereoscópicas detalladas anteriormente y se obtiene unos tamaños de atún para aquellos objetos de la imagen que se han podido procesar exitosamente. Se infiere entonces el peso de cada uno de dichos atunes seleccionado y se utiliza la media de peso para calcular la biomasa total, siendo el valor total el resultado de multiplicar el peso medio por el número de atunes detectados mediante técnicas acústicas que se describen a continuación.

En la forma del ejemplo, se utiliza un ecograma como el mostrado en la figura 6, que se segmenta por técnicas de procesado de imagen basadas en criterios morfológicos para obtener unas regiones segmentadas como la de la figura 7. En aras de la claridad no se detallan las técnicas de segmentación morfológica dada la gran diversidad que existe en la técnica de las mismas. Valga decir que se utilizan criterios de forma y determinación de zonas

mediante unos modelos preestablecidos de las trazas de ecograma que se espera tener para los atunes. Es decir, se parte de un modelo de cuál es la "huella" ecográfica de un atún y se buscan zonas similares a dichas huellas en el ecograma, obteniendo así el número de ejemplares. Dado que los atunes capturados suelen moverse entre unos tamaños y con unas potencias de eco esperables, se eligen unos rangos para estos parámetros de TS y tamaño y se filtran aquellas regiones del ecograma que caen fuera de estos márgenes. Por otro lado, se incorporan los datos de temperatura del agua, salinidad y pH para compensar el ecograma y eliminar los efectos de las variaciones que estas condiciones puedan provocar.

En las siguientes formas de realización de la invención, se aplica el procedimiento al conteo y determinación de tamaño y biomasa durante las operaciones de traslado de atunes entre jaulas (6, 7), por ejemplo, desde las redes de captura a las jaulas de transporte, o desde las jaulas de transporte a las granjas de engorde. Para ello se utiliza una estructura de soporte (5) que se une a ambas jaulas (6, 7) y que presenta unas ventanas (8, 9) de paso con dichas jaulas (6, 7). De esta forma, al abrir las ventanas queda habilitada una zona de paso de atunes entre la primera ventana (8) y la segunda ventana (9). En el ejemplo de la figura 8, se han representado unos ejes que representan una primera dirección (101), que coincide con la dirección de paso de los atunes, una segunda dirección (102) horizontal y perpendicular a la primera dirección (101), así como la dirección vertical (100). Aunque únicamente se ha representado en esta figura, el diagrama es equivalente para las Fig. 9 a 13. En estos ejemplos el intervalo de medición es el tiempo en el que los atunes pasan de la primera jaula (6) a la segunda jaula (7). En los ejemplos se usan cámaras con lentes de longitud focal de 6mm y un transductor de cortina de 0.5° de apertura en la primera dirección (101) y de 49° de apertura en la segunda dirección (102), colocado de dirección vertical (100). La zona de paso tiene unas dimensiones de 10m en dirección vertical (100) por 10m en la segunda dirección (102), y los medios de medida se ubican a una profundidad de unos 16m, con lo que están a 6m de dicha zona de paso. De esta forma la apertura de 49° no llega a cubrir la totalidad de la zona de paso, que para esa distancia necesitaría un ángulo de unos 80°. Sin embargo, existen dos motivos para esta selección, aparte de la dificultad de encontrar transductores comerciales con anchos de haz tan extremos: el primero es que, cuando se habla de ancho de haz, se refiere a una caída de -3dB, pero realmente sigue recibiendo señal fuera de ese ancho, por lo que, en casos extremos, todavía se podría detectar. El segundo motivo es que aumentar la profundidad repercute en el componente de imagen, por lo que las imágenes perderían nitidez, en particular, para un ancho de haz de 49°, la distancia al pasillo debería ser de unos 11m. Adicionalmente a lo anterior, la zona que queda fuera del haz principal está situada en las esquinas de la parte extrema inferior, donde resulta más improbable que pasen los peces, dado su comportamiento observado.

Para garantizar que, a las velocidades en las que los atunes pasan de una jaula a otra, se consiga por lo menos dos muestras, a veces llamadas cortes, del pez, en las formas de realización de ejemplo, el sensor acústico emite unas ráfagas de pulsos de 64 microsegundos por ráfaga, repetidas a una frecuencia de 10 Hz. Frecuencias mayores son preferibles para poder realizar más cortes de los peces, aunque el coste de los equipos puede resultar más elevado. El máximo para estas configuraciones de ejemplo está alrededor de los 46 Hz.

En un ejemplo de realización mostrado en la figura 8 se utiliza una estructura de soporte (5) con un perfil en forma de rombo, de forma que el vértice superior es el punto de unión entre las dos jaulas (6, 7). Centrado en el vértice interior se posicionan las cámaras y el transductor, apuntando en dirección vertical (100), por lo que la zona de agua (1) corresponde a la zona de paso de atunes dentro de la estructura (5). En la figura 8 se han representado esquemáticamente los haces acústicos y el cono de visión de las cámaras. Esto mismo se ha representado para el resto de figuras de la figura 9 a 12.

En otro ejemplo de realización mostrado en las Fig. 9 y 10, se utiliza una estructura de soporte (5) con un perfil en forma pentagonal, de forma que el vértice superior es el punto de unión entre las dos jaulas (6, 7). Centrado en la base plana interior de la estructura (5) se posicionan las cámaras y el transductor. En este caso el transductor apunta siempre en dirección vertical (100), mientras que las cámaras apuntan bien hacia la segunda ventana (9) en el caso de la figura 9, o bien hacia la primera ventana (8) en el caso de la figura 10. El objetivo de esta angulación respecto a la dirección vertical (100) es evitar las sombras de las propias estructuras de flote de las jaulas (6, 7).

Otra forma de realización mostrada en la figura 11 comprende una estructura de soporte (5) con perfil rectangular y en la que todos los medios de medida apuntan en dirección vertical (100), centrados en el fondo de la estructura (5).

Finalmente, la figura 12 muestra un ejemplo de realización alternativo en el que los medios de medida se ubican fuera de la zona de paso interna de la estructura (5) para evitar las sombras. En el caso ejemplificado se ubica en la segunda jaula (7), frente a la segunda ventana (9), pero podría estar también en la primera jaula (6) frente a la primera ventana (9).

Finalmente, la figura 13 muestra una forma de realización en la que se ha añadido una cámara de control para la inspección visual de las operaciones de traslado de atunes. Esta cámara es independiente de los medios de medida y se ubica apuntando a una de las ventanas (8, 9), preferentemente a la primera ventana (8). La figura 14 muestra un ejemplo del campo de visión de la cámara de control.

Descripción de una forma de realización del modelo de atún

Es un objetivo de la invención la segmentación automática de las imágenes obtenidas por los medios de captura, así como la extracción de las características de tamaño de los atunes detectados en las mismas.

Para ello, se propone un modelo del cuerpo de atún. En particular se trata de un modelo en dos dimensiones de la silueta desde una visión ventral, lo que tiene la ventaja de un modelado más simple que en tres dimensiones, y que reduce el coste computacional necesario. El modelo además es deformable, para adaptarse a las formas que puede adoptar el atún cuando nada en su movimiento y flexiones, y permitir obtener unos valores de tamaño precisos incluso en caso de que la silueta obtenida no sea del pez en posición rectilínea.

Así, el objetivo es obtener un modelo 2D deformable que tenga en cuenta la curvatura del cuerpo de atún mientras está nadando. La forma real del cuerpo del atún rojo que se aprecia en la figura 15 y algunos datos sobre la cinemática han sido estudiadas de forma experimental para transferir este conocimiento al modelo. La forma modelada corresponde a una vista del atún desde abajo, ya que esta perspectiva del cuerpo del atún es bastante estable a pesar de sus movimientos y giros al nadar. El modelo desarrollado tiene en cuenta los puntos representativos de la silueta del atún y su gesto de natación. En la figura 15 se pueden apreciar unos puntos de referencia a lo largo de la columna vertebral, y unos puntos extremos que corresponden al contorno del atún. S_i representa una unidad de medida utilizada de referencia en el modelo a modo de factor de escala.

De esta forma, el modelo de ejemplo mostrado en las figuras comprende un conjunto K de 39 puntos de referencia (también llamados *landmark*) para el contorno del cuerpo del atún, con 19 puntos de referencia para representar cada lado del cuerpo de atún y otro punto para el hocico. A partir del eje longitudinal del pez que representaría su columna vertebral y que va desde la punta de la boca hasta el extremo del pedúnculo caudal, se obtienen dieciséis secciones equidistantes para definir posiciones de referencia en la columna vertebral y encontrar los posibles límites del cuerpo del pez y modelarlos. Todo ello se basa en el supuesto de que el cuerpo del atún bajo esta perspectiva es prácticamente simétrico respecto a su columna vertebral, cuando no está flexionado. Dichas vértebras están etiquetadas como v_0 y v_{19} en la figura 15.

A partir de 20 vértebras referenciadas se han obtenido de forma experimental un conjunto de coeficientes que nos permiten estimar los extremos del borde del cuerpo del atún a ambos lados de la columna vertebral respecto a dichas vértebras. Estos coeficientes relacionan posición de vértebras y bordes del cuerpo del atún, tomando los siguientes valores para el caso de un atún no flexionado:

$$c^u = [0, 0.7, 1.15, 1.35, 1.55, 1.65, 2.0, 2.5, 2.8, 3.15, 1.7, 1.55, 1.35, 1.1, 0.9, 0.7, 0.55, 0.45, 0.5, 0.75]$$

Por otro lado, durante el movimiento de natación los atunes realizan una flexión global θ , definida como el ángulo formado entre la primera y la última vértebra. Se ha observado que esta flexión global θ no se distribuye uniformemente a lo largo de la longitud del cuerpo del atún. Se ha observado que cada vértebra contribuye de manera diferente a esta flexión global θ . El cálculo de la flexión de cada vértebra se basa en las expresiones:

$$\sum_{i=0}^{19} d\theta_i = \theta; d\theta_i = \frac{\theta * \Delta\theta_i}{\sum_{i=0}^{19} \Delta\theta_j}; \sum_{i=0}^{19} \Delta\theta_i = 16; \forall v_i \in v;$$

Los valores de los coeficientes $\Delta\theta_i$ representan la contribución de la flexión de cada vértebra a la flexión global. Tras un estudio de la flexión de los individuos se obtuvieron los siguientes valores para los coeficientes de flexión de cabeza a cola:

$$\Delta\theta = [0, 0, 0.64, 0.64, 0.48, 0.48, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.48, 0.64, 0.8, 0.96, 1.12, 1.28, 1.44, 1.92, 2.4, 2.72]$$

Los valores de estos coeficientes demuestran alta flexión en las vértebras cercanas a la cola y muy poca flexión en la cabeza. En este caso la flexión parcial de cada vértebra se obtendría con la expresión:

$$d\theta_i = \frac{\theta * \Delta\theta_i}{\sum_{i=0}^{19} \Delta\theta_j}; \sum_{i=0}^{19} \Delta\theta_i = 16; \forall v_i \in v;$$

Con la flexión de cada vértebra se calcula la curvatura de la columna vertebral del atún y se obtienen los puntos de referencia para el contorno de un atún detectado. Teniendo en cuenta las coordenadas de cada vértebra $v_i = (x_i^v, y_i^v)$ se obtienen las coordenadas de los landmarks $k_i = (x_i^k, y_i^k)$ utilizando las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} x_i^k &= x_i^v - S_i c_i \sin(\theta_i); y_i^k = y_i^v + S_i c_i \cos(\theta_i); i = 0, \dots, 19 \\ x_i^k &= x_{i-19}^v + S_i c_{i-19} \sin(\theta_{i-19}); y_i^k = y_{i-19}^v - S_i c_{i-19} \cos(\theta_{i-19}); i = 20, \dots, 39 \end{aligned}$$

En la figura 17, se pueden observar tres formas posibles del atún utilizando el modelo del ejemplo para tres casos de flexión global $\theta=15^\circ$, $\theta=30^\circ$ y $\theta=45^\circ$.

Además de la capacidad de flexión por medio de parámetros θ , el modelo introduce cuatro parámetros para que sea adaptable a la traslación y la rotación sin cambiar sus características estructurales. La figura 18 muestra dichos parámetros.

Por lo tanto, el modelo de atún del ejemplo, representado por la letra M, se define por un vector de cinco parámetros $\mathbf{M} = [s_x, s_y, l, \alpha, \theta]$ donde:

- s_x y s_y son parámetros de traslación que dan la ubicación en la imagen del hocico;
- l es la longitud de la columna vertebral ($l = 16 S_i$), que da el factor de escala;
- α indica la rotación rígida del modelo, definido como el ángulo de la cabeza del pez en relación con el eje horizontal; y
- θ es el ángulo de flexión global de la columna vertebral.

Para este ejemplo, en el proceso de detección de atunes se realiza una fase de ajuste al modelo de cada una de las imágenes de la secuencia estereoscópica. El objetivo del proceso de adaptación es obtener los valores óptimos para los parámetros del modelo 2D que mejor se ajustan a un blob candidato a ser atún. Se trata de ajustar el modelo para minimizar una medida de discrepancia de modelo a la imagen sobre la base de los límites del candidato en la imagen. Este ajuste debe minimizar la medida de discrepancia entre los bordes del modelo y los bordes del blob segmentado o el atún segmentado de la imagen. Los parámetros del modelo se inicializan teniendo en cuenta parámetros del blob obtenidos tras la segmentación y se van ajustando y volviendo a calcular hasta que ya no se consigue mejor ajuste.

Se ha definido un índice de error de ajuste (FEI) basado en la distancia cuadrática que ocurre entre los puntos característicos del modelo y los del blob segmentado. Las figuras 5a a 5c ilustran el proceso de ajuste llevado a cabo y la figura 19 muestra un ejemplo real. En este caso se utiliza un modelo de atún sin aletas laterales y que incluye el modelado del pedúnculo. Además, la imagen representa el proceso para el par de imágenes estereoscópicas y se ha seleccionado automáticamente un atún sin ocultaciones ni solapes con otros para obtener medidas biométricas fiables.

El experto en la materia entenderá que a partir de este modelo se pueden derivar otros más detallados, por ejemplo, con un número mayor de vértebras, añadiendo un modelado del pedúnculo del pez, o incluso modelos con distribución no constante de las vértebras. Así es posible obtener una mayor precisión en las medidas biométricas calculadas que proporcionen la longitud del pez teniendo en cuenta su flexión y la anchura del pez.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento implementado por ordenador para la determinación de la biomasa de atunes en una zona de agua (1), en el que se disponen sumergidos bajo dicha zona de agua (1) unos medios de medida (2) que comprenden un sensor acústico y unos medios de captura de imágenes, estando dichos medios de medida (2) en posiciones conocidas y dirigidos en dirección ascendente, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

- durante un intervalo de medida en el que unos atunes atraviesan dicha zona de agua (1):

- dicho sensor acústico realiza unas mediciones acústicas emitiendo unas señales acústicas y recibiendo unos ecos, generando así un ecograma; y

- dichos medios de captura de imágenes realizan unas capturas de imagen, generando una secuencia de imágenes que contiene imágenes de dichos atunes;

que comprende asimismo las etapas siguientes:

- determinar un valor del número de atunes que han atravesado dicha zona de agua (1) durante dicho intervalo de medida utilizando dicho ecograma;

- determinar un valor de peso de atunes utilizando dicha secuencia de imágenes;

- determinar un valor de biomasa de atunes que han atravesado dicha zona de agua (1) durante dicho intervalo de medida a partir de dicho valor del número de atunes y de dicho valor de peso de atunes;

en el que determinar dicho valor de peso de atunes comprende:

- seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes;

- determinar un cálculo de valor de tamaño para cada uno de dichos atunes seleccionados;

- determinar un cálculo de valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados a partir de dicho valor de tamaño; y

- determinar dicho valor de peso de atunes como el valor medio de dicho valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados;

en el que dicho valor de biomasa se determina como la multiplicación de dicho valor de número de atunes por dicho valor de peso de atunes;

en el que dicha secuencia de imágenes comprende una pluralidad de fotogramas, y en el que seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes comprende las etapas siguientes:

- segmentar dichos fotogramas para obtener unos primeros objetos candidato;

- filtrar dichos primeros objetos candidato por sus características geométricas, obteniendo unos segundos objetos que son un subconjunto de dichos primeros objetos, en el que dichos segundos objetos se seleccionan como atunes.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dichos medios de captura de imágenes comprenden dos sensores ópticos situados a una posición relativa entre ellos, de forma que dicha secuencia de imágenes comprende una secuencia estereoscópica que comprende una primera subsecuencia de imágenes y una segunda subsecuencia de imágenes, estando ambas subsecuencias sincronizadas; en el que dicho procedimiento comprende las etapas adicionales de:

- seleccionar unos atunes presentes simultáneamente en dicha primera subsecuencia de imágenes y en dicha segunda subsecuencia de imágenes;

- determinar un cálculo de valor de distancia para dichos atunes seleccionados, utilizando los valores de dicha posición relativa entre dicho primer sensor óptico y dicho segundo sensor óptico; y

- modificar dicho valor de tamaño para cada uno de los atunes seleccionados utilizando dicho valor de distancia.

3. Procedimiento según las reivindicación 2, caracterizado por que seleccionar unos atunes presentes simultáneamente en dicha primera subsecuencia de imágenes y en dicha segunda subsecuencia de imágenes

comprende seleccionar dos puntos característicos (3) de cada atún seleccionado en una de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, siendo dichos dos puntos característicos (3) preferentemente la punta de la cabeza y la punta de la cola, y proyectar dichos dos puntos en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia, a través de unas líneas epipolares (4); de forma que se seleccionan aquellos atunes con dichos dos puntos característicos (3) en una de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia que se corresponden con otros dos puntos característicos (3) situados en dichas líneas epipolares (4) en la otra de entre dicha primera subsecuencia y dicha segunda subsecuencia.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes comprende la etapa adicional de:

- ajustar un modelo de imagen de atún a dichos segundos objetos, de forma que, si para un objeto el error de ajuste supera un valor umbral de error, se descarta dicho objeto, mientras que en caso contrario se considera que dicho objeto es un atún seleccionado y se obtiene un modelo ajustado;

y en el que determinar un cálculo de valor de tamaño para cada uno de dichos atunes seleccionados comprende obtener dicho valor de tamaño a partir de dicho modelo ajustado de dicho atún seleccionado.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que dicho modelo de imagen de atún comprende un modelo por segmentos, en el que se utilizan unos puntos, llamados vértebras, v_i , situados en el eje del atún, preferentemente 20 puntos, numerados de la vértebra 0 (v_0) que corresponde a la punta de la cabeza, hasta la vértebra 19 (v_{19}) que corresponde al extremo de la cola.

6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que determinar dicho valor del número de atunes que han atravesado dicha zona de agua (1) durante dicho intervalo de medida utilizando dicho ecograma comprende las etapas siguientes:

- segmentar regiones de dicho ecograma aplicando unos criterios de morfología matemática, considerando que dicho ecograma es una imagen;
- obtener unas regiones segmentadas; y
- determinar dicho valor del número de atunes como el valor del número de dichas regiones segmentadas;

en el que dichos criterios de morfología matemática preferentemente comprenden unos modelos de traza de ecograma para los atunes, de forma que dichas regiones se segmentan por similitud morfológica con dichos modelos de traza.

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que se dispone una estructura de soporte (5) que une una primera jaula (6) con una segunda jaula (7), donde dicha estructura de soporte (5) presenta una primera ventana (8) de paso que comunica con dicha primera jaula (6) y una segunda ventana (9) de paso que comunica con dicha segunda jaula (7), definiendo una zona de paso para atunes entre dicha primera ventana (8) y dicha segunda ventana (9), una dirección de paso que va horizontalmente de dicha primera jaula (6) a dicha segunda jaula (7), quedando así definidas una primera dirección (101) que coincide con dicha dirección de paso, y una segunda dirección (102) que es horizontal y perpendicular a dicha primera dirección (101); en el que dicha estructura presenta un primer perfil mirando en dicha primera dirección (101), y un segundo perfil mirando en dicha segunda dirección (102); y en el que dicho intervalo de medida comprende un tiempo en el que una pluralidad de atunes se desplaza de dicha primera jaula (6) a dicha segunda jaula (7) en dicha dirección de paso.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que dicho sensor acústico presenta un haz de detección en forma de cortina con un lado ancho y un lado estrecho, estando dicho sensor dispuesto de forma que dicho lado ancho se extiende en dicha segunda dirección (102) presentando un segundo ancho de haz tal que cubre toda dicha zona de agua (1), y dicho lado estrecho se extiende en dicha primera dirección (101) presentando un primer ancho de haz menor de 5° , preferiblemente menor de 2° , más preferiblemente entre 1° y $0,5^\circ$.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que dicho sensor acústico comprende una ecosonda y un transductor de haz ancho, en el que dicho segundo ancho de haz tiene entre 40° y 80° , preferentemente entre 45° y 55° , más preferentemente 49° .

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, caracterizado por que dichos medios de medida (2) se posicionan en el fondo interior de dicha estructura de soporte (5), centrados respecto a dicha segunda dirección (102) y preferentemente, también centrados respecto a dicha primera dirección (101), y en el que dicho sensor acústico se posiciona dirigido en dirección vertical (100), de forma que dicha zona de agua (1) está comprendida en dicha zona de paso.

11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que dicho segundo perfil de dicha estructura de

soporte (5) presenta una forma de rombo, con un vértice superior y un vértice inferior, y en el que dichos medios de medida (2) se posicionan en dicho vértice inferior y dirigidos en dirección vertical (100).

5 12. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que dicha estructura de soporte (5) presenta un segundo perfil en forma de pentágono con un vértice superior y una base plana inferior, en el que dichos medios de medida (2) se posicionan en dicha base plana y en el que dichos medios de captura de imagen se posicionan dirigidos en dirección a dicha primera ventana (8) o dicha segunda ventana (9).

10 13. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que dicho segundo perfil de dicha estructura de soporte (5) presenta una forma rectangular, con una parte inferior y una parte superior planas, y en el que todos dichos medios de medida (2) se posicionan en dicha parte inferior y dirigidos en dirección vertical (100).

15 14. Sistema para la determinación de biomasa de atunes en una zona de agua (1), que presenta unos medios de medida (2) que comprenden un sensor acústico y unos medios de captura de imágenes, configurados para ser dispuestos sumergidos bajo dicha zona de agua (1), en posiciones conocidas y dirigidos en dirección ascendente, en el que durante un intervalo de medida en el que unos atunes atraviesan dicha zona de agua (1):

- dicho sensor acústico está configurado para realizar unas mediciones acústicas emitiendo unas señales acústicas y recibiendo unos ecos, generando así un ecograma; y
- dichos medios de captura de imágenes están configurados para realizar unas capturas de imagen, generando una secuencia de imágenes que contiene imágenes de dichos atunes;

20 comprendiendo además dicho sistema unos medios de análisis configurados para:

- determinar un valor del número de atunes que han atravesado dicha zona de agua (1) durante dicho intervalo de medida utilizando dicho ecograma;
- determinar un valor de peso de atunes utilizando dicha secuencia de imágenes;
- determinar un valor de biomasa de atunes que han atravesado dicha zona de agua (1) durante dicho intervalo de medida a partir de dicho valor del número de atunes y de dicho valor de peso de atunes;

35 en el que determinar dicho valor de peso de atunes comprende:

- seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes;
- determinar un cálculo de valor de tamaño para cada uno de dichos atunes seleccionados;
- determinar un cálculo de valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados a partir de dicho valor de tamaño; y
- determinar dicho valor de peso de atunes como el valor medio de dicho valor de peso individual para cada uno de dichos atunes seleccionados;

45 en el que dicho valor de biomasa se determina como la multiplicación de dicho valor de número de atunes por dicho valor de peso de atunes;

50 en el que dicha secuencia de imágenes comprende una pluralidad de fotogramas y en el que seleccionar unos atunes de dicha secuencia de imágenes comprende las etapas siguientes:

- segmentar dichos fotogramas para obtener unos primeros objetos candidato;
- filtrar dichos primeros objetos candidato por sus características geométricas, obteniendo unos segundos objetos que son un subconjunto de dichos primeros objetos, el que dichos segundos objetos se seleccionan como atunes.

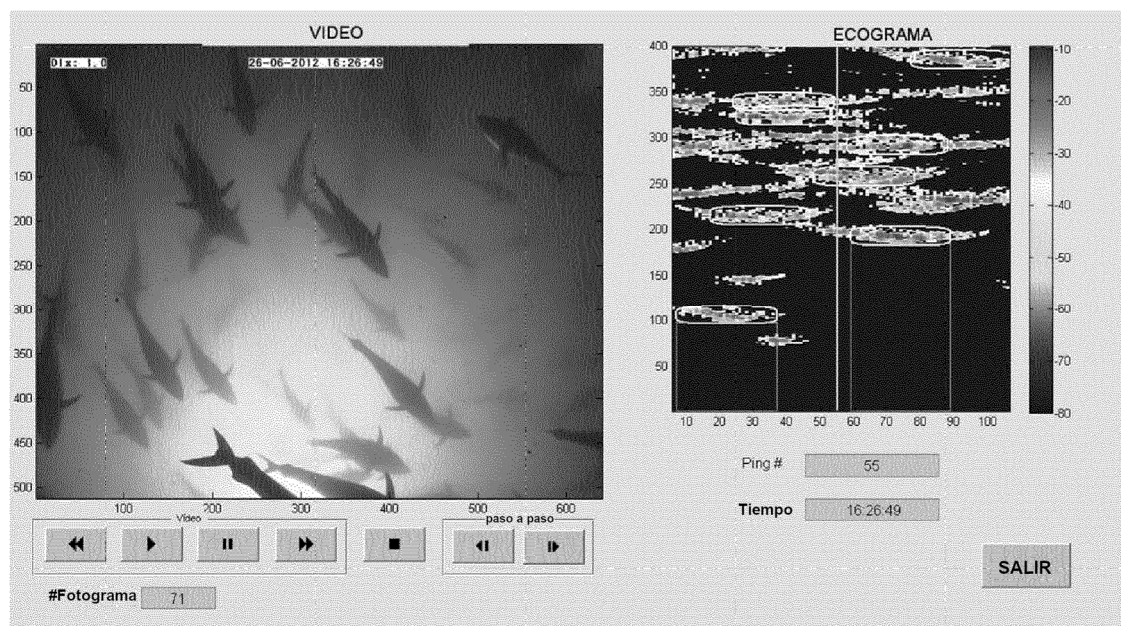


FIG. 1

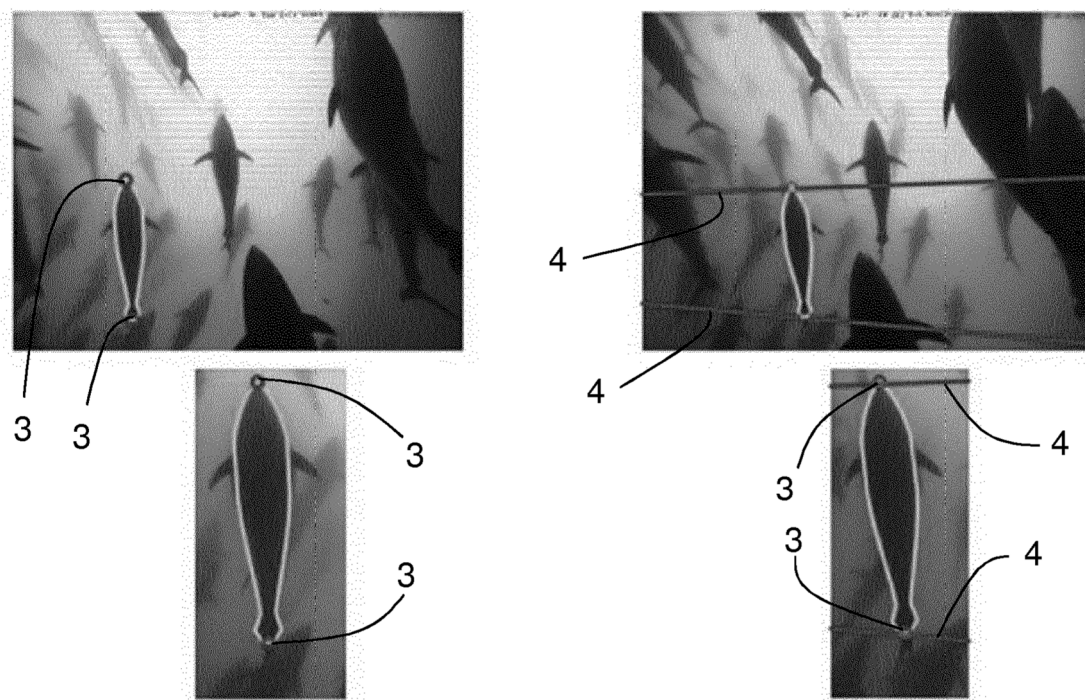


FIG. 2

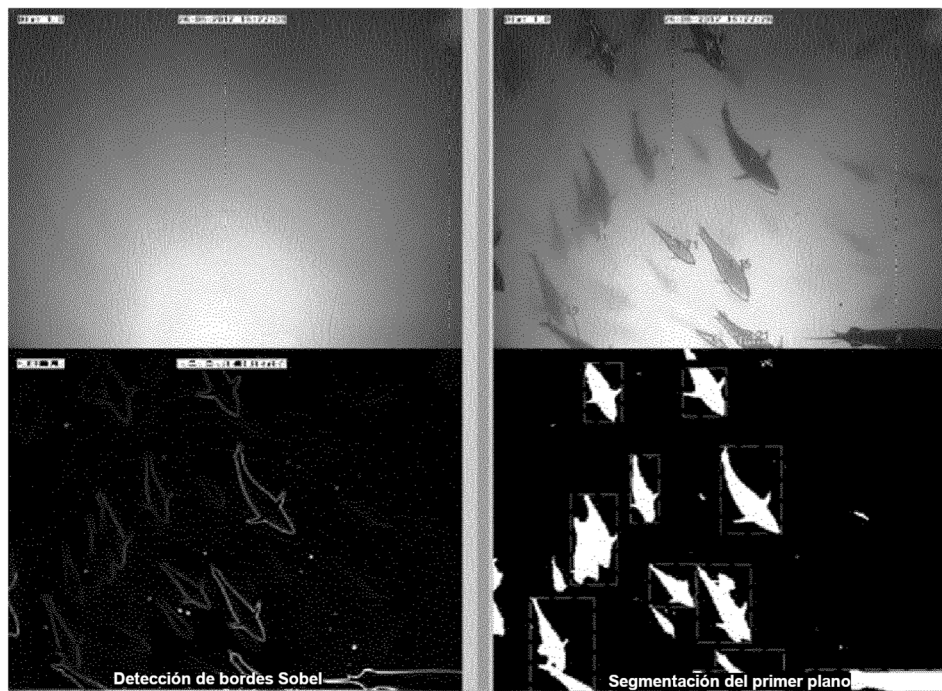


FIG. 3

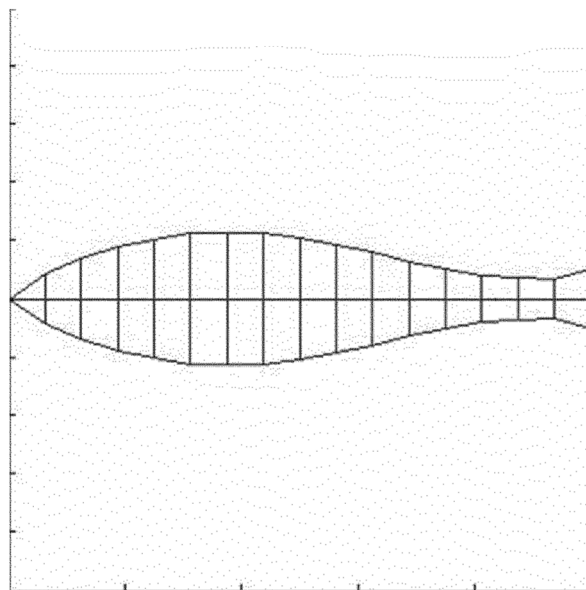


FIG. 4

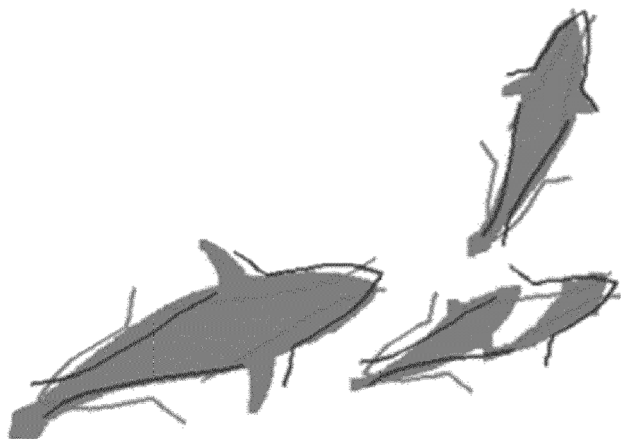


FIG. 5a

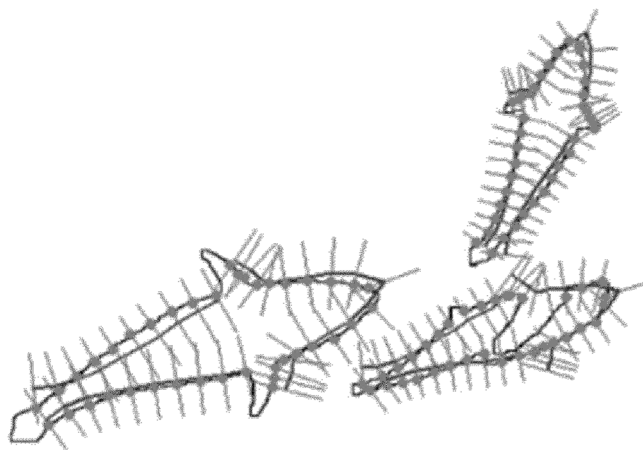


FIG. 5b

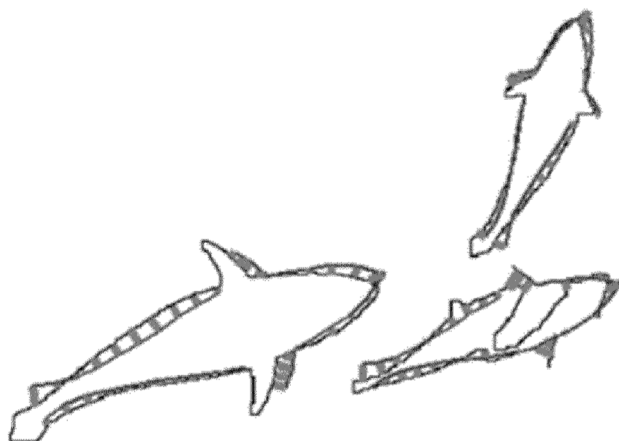


FIG. 5c

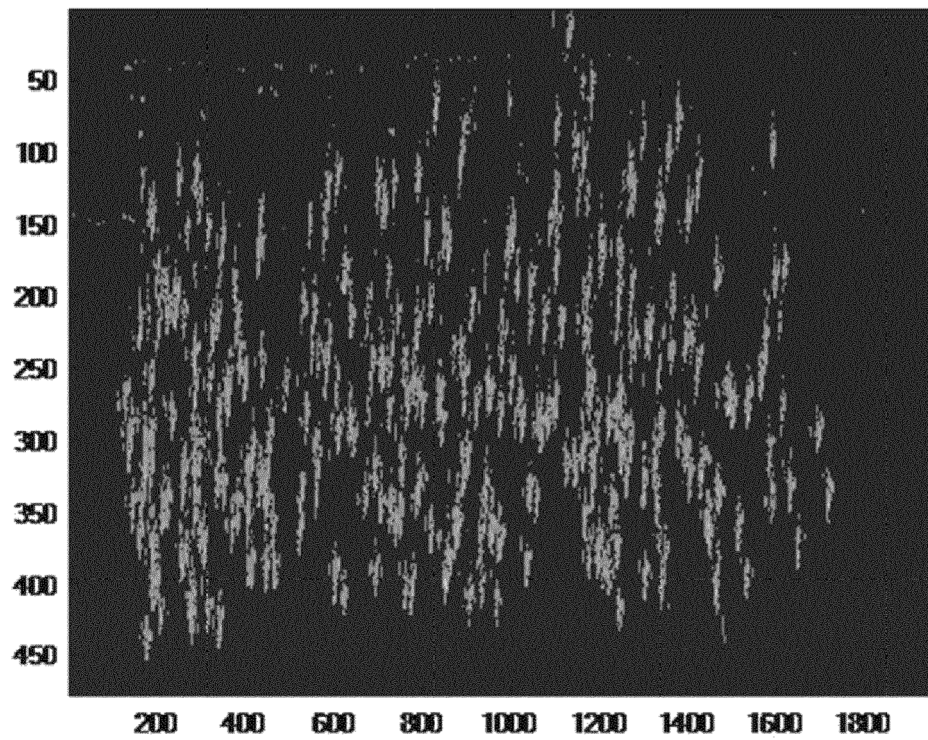


FIG. 6

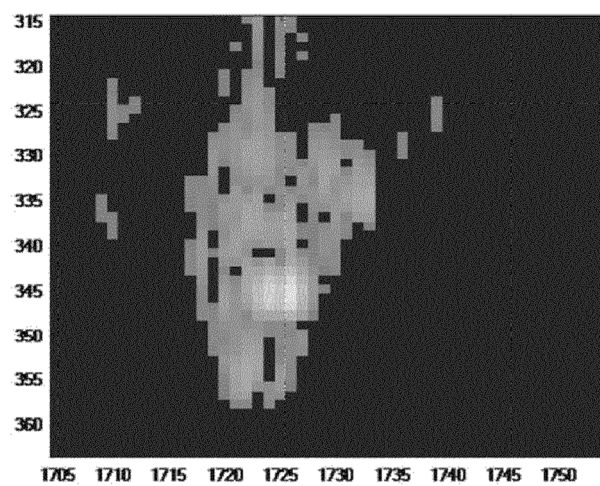


FIG. 7

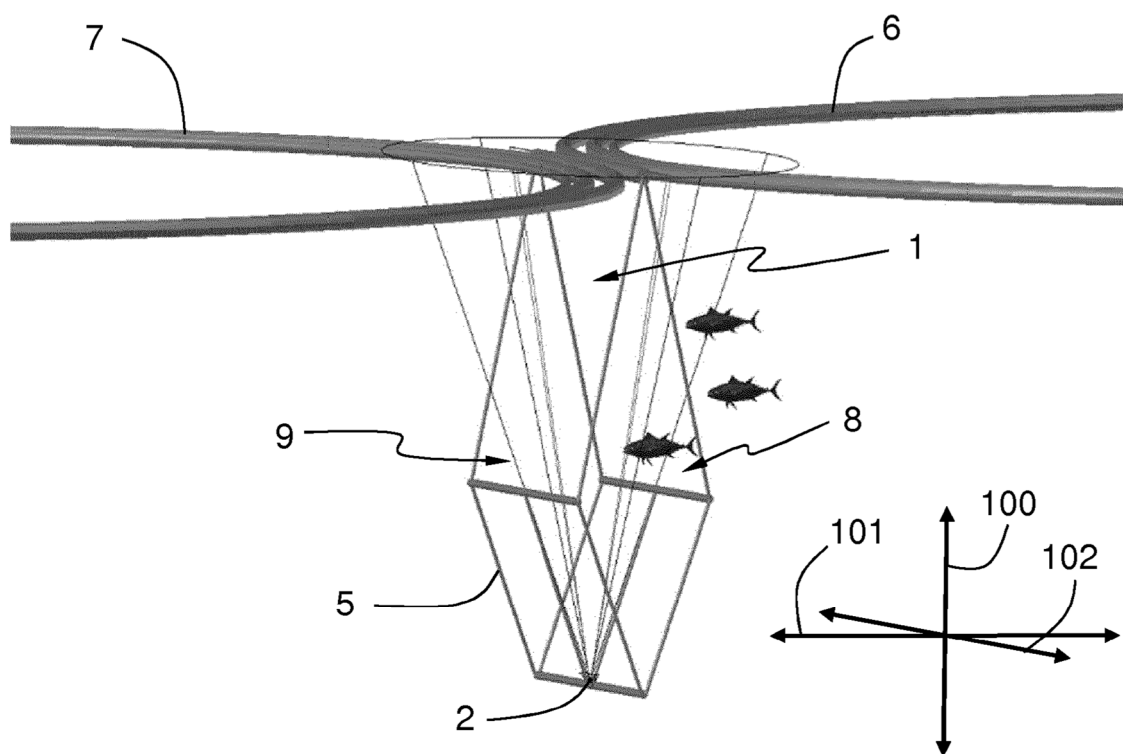


FIG. 8

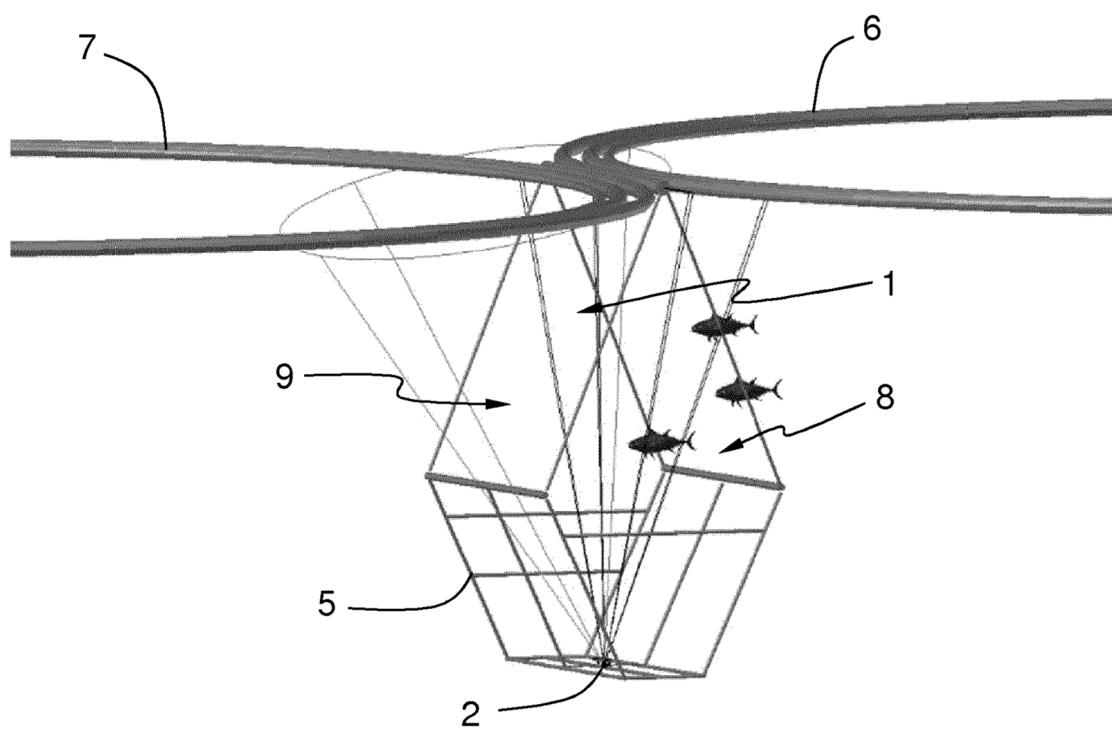


FIG. 9

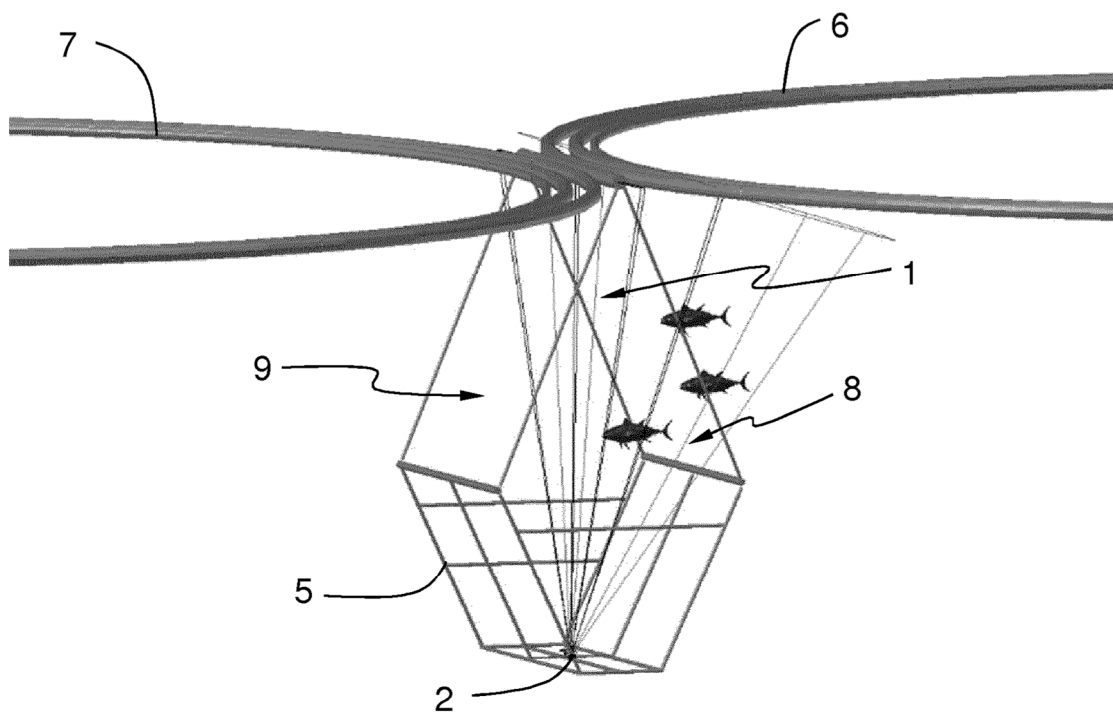


FIG. 10

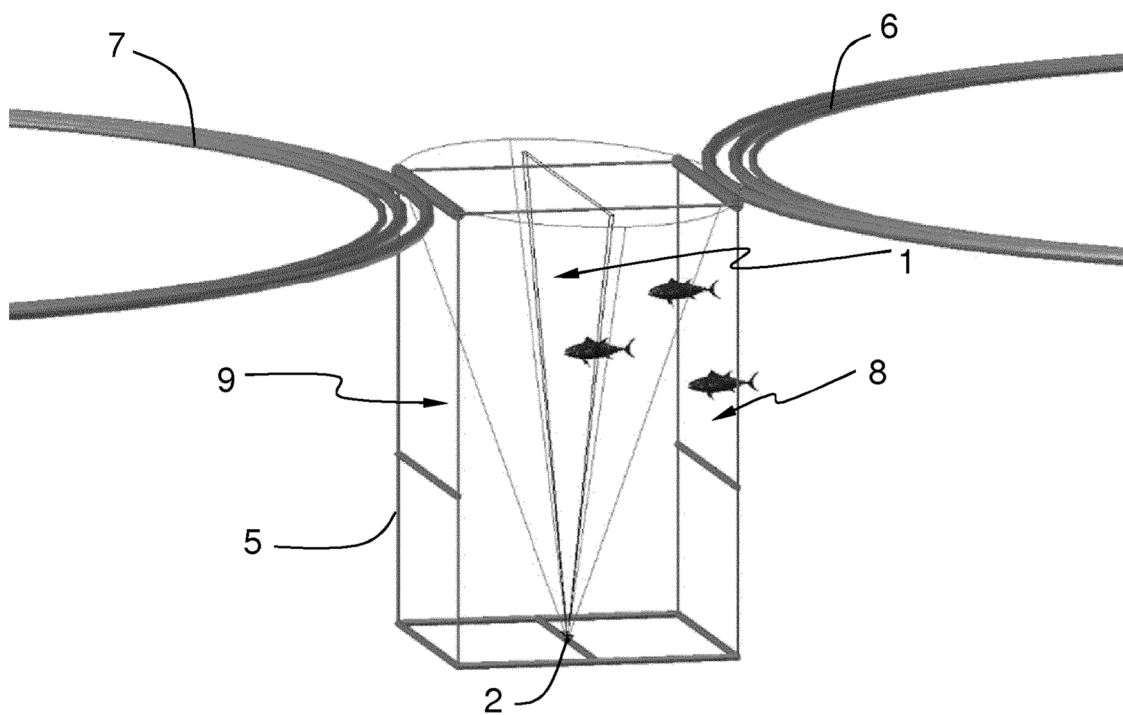


FIG. 11

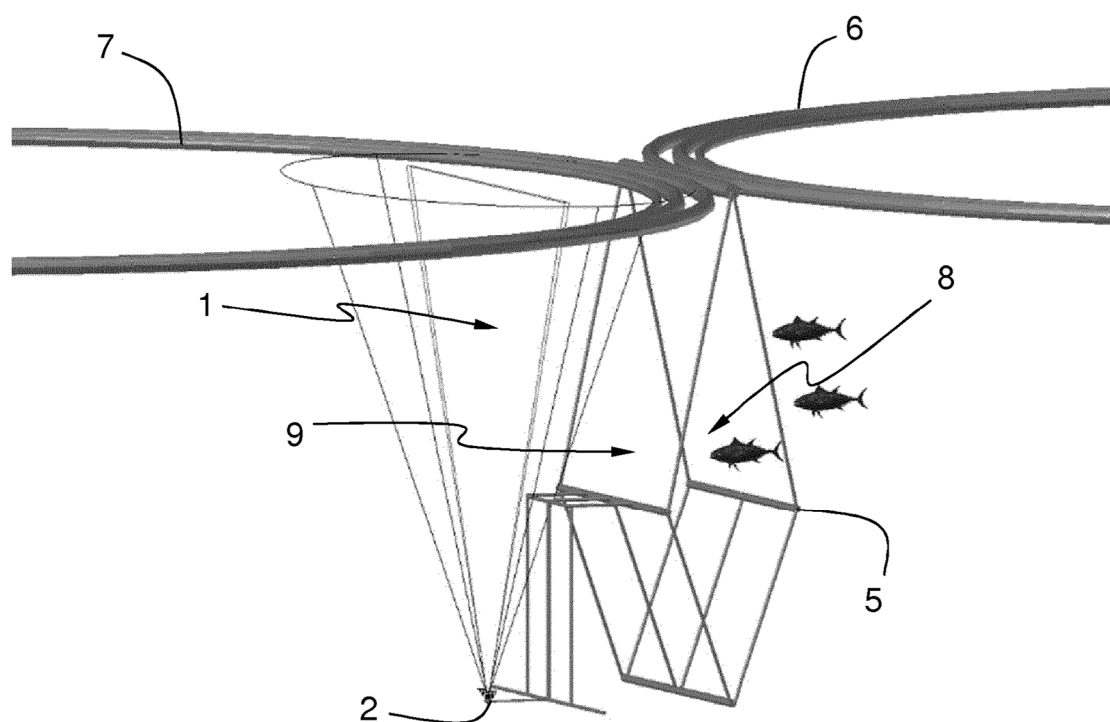


FIG. 12

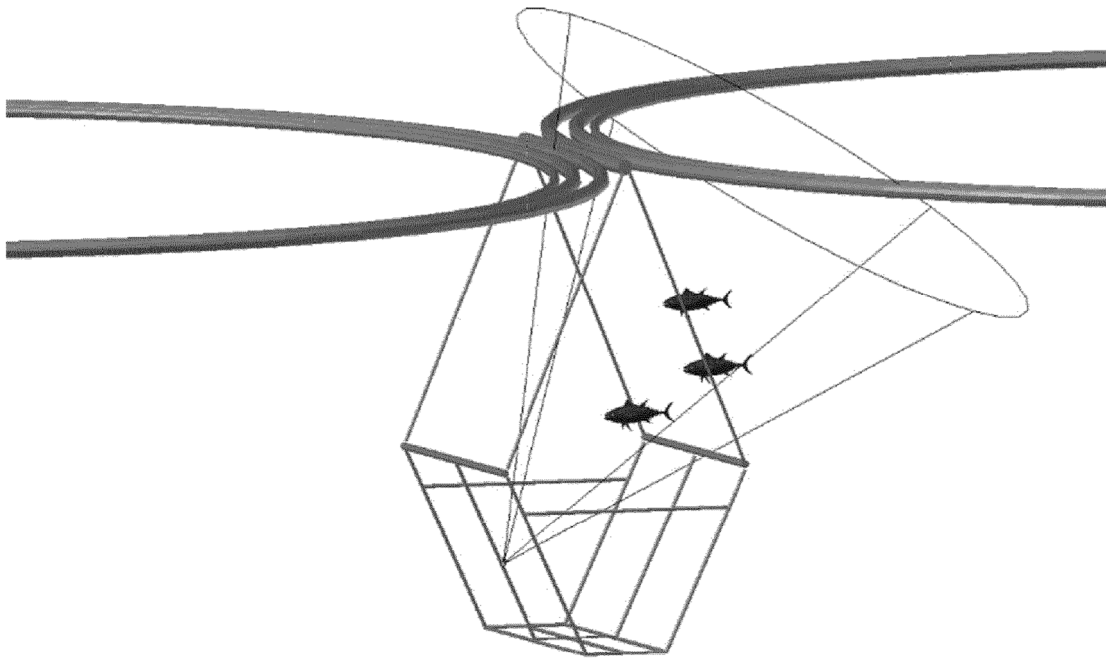


FIG. 13

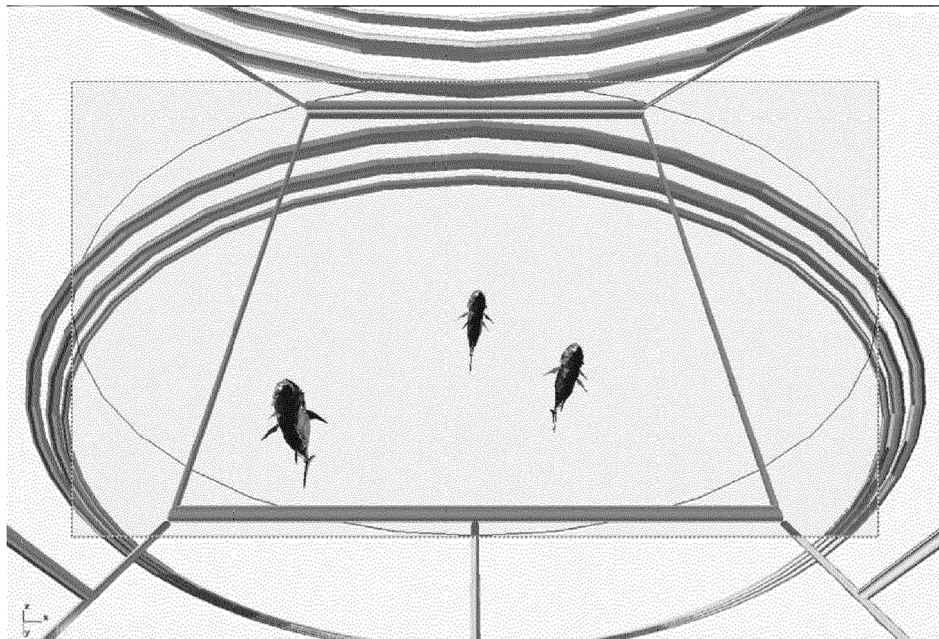


FIG. 14

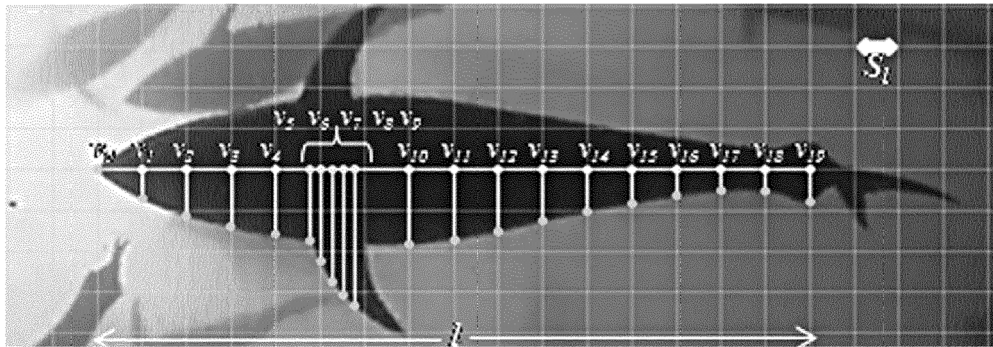


FIG. 15

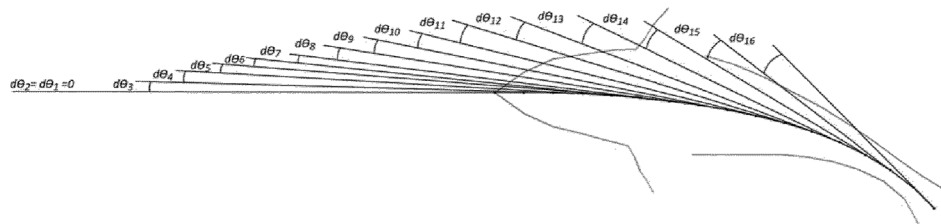


FIG. 16

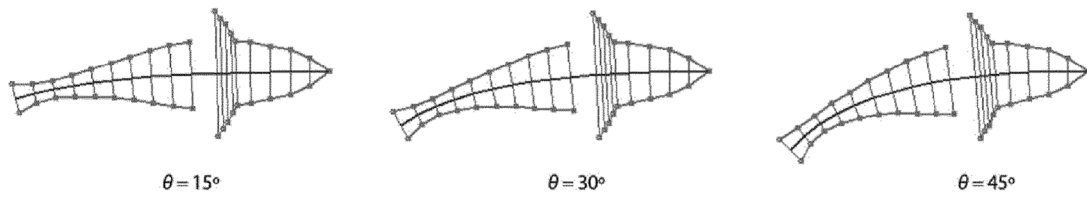


FIG. 17

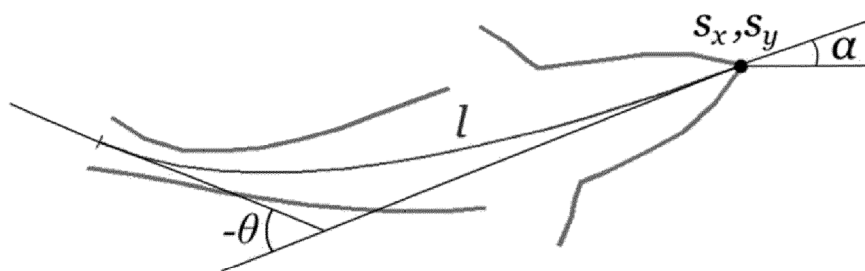


FIG. 18

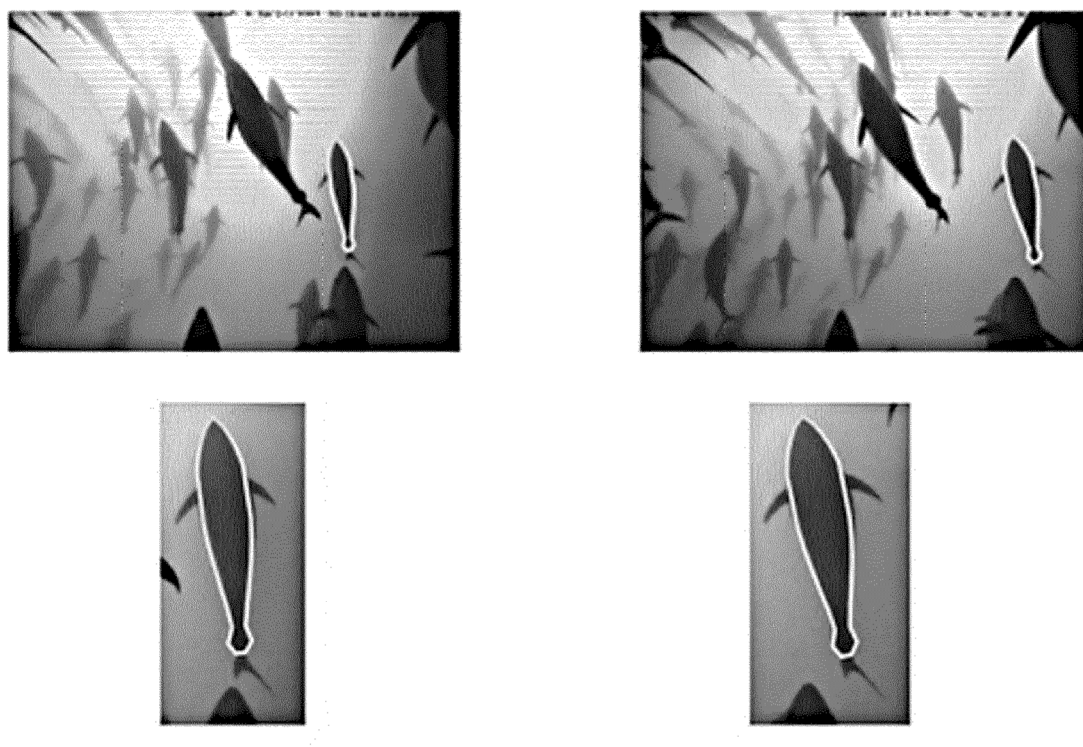


FIG. 19