

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 520**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/162** (2007.01)

**G06T 7/11** (2007.01)

**G06K 9/62** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.03.2012 PCT/AU2012/000207**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.09.2012 WO12119188**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2012 E 12754439 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018 EP 2681693**

54 Título: **Método para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador**

30 Prioridad:

**04.03.2011 AU 2011900783**

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

**04.12.2018**

73 Titular/es:

**LBT INNOVATIONS LIMITED (100.0%)  
300 Flinders Street  
Adelaide, South Australia 5000, AU**

72 Inventor/es:

**VAN DEN HENGEL, ANTON, JOHN;  
WARD, BENJAMIN, WILLIAM, STEPHEN y  
HILL, RHYS, ERNST**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 692 520 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

Método para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a métodos y software para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador. La invención va a ser descrita con respecto a su aplicación en la mejora de los resultados de clasificación de píxel o de imagen; sin embargo, se apreciará que los principios y conceptos de la invención son igualmente aplicables a otras tareas de clasificación.

**Antecedentes de la invención**

10 Un clasificador puede ser entrenado usando un algoritmo de aprendizaje de máquina para clasificar una pluralidad de elementos como una de una pluralidad de clases. El clasificador realiza una predicción de la clasificación de cada elemento, y también puede hacer una evaluación de la confianza en la predicción.

15 Un ejemplo ya existente de clasificador es un clasificador reforzado, que combina la salida de un conjunto de clasificadores “débiles” (con baja precisión de clasificación, aunque mejor que la aleatoria) para producir un único clasificador “fuerte” con alta precisión. Al combinar los clasificadores débiles, el resultado de cada clasificador débil se pondera conforme a la confianza en la exactitud del clasificador débil. Un algoritmo de refuerzo puede mejorar adaptativamente el rendimiento del clasificador proporcionando una mayor ponderación a ejemplos mal clasificados por un clasificador débil cuando entrena al siguiente clasificador débil.

20 A pesar de combinar un número de clasificadores débiles, el clasificador fuerte no producirá necesariamente una clasificación precisa para un problema dado. Por ejemplo, si se usa el clasificador reforzado para segmentar o seleccionar características de una imagen, algunos de los píxeles de la imagen pueden ser mal etiquetados, conduciendo a ruido en la segmentación resultante.

25 Este ruido puede ser limpiado hasta un cierto punto usando operaciones simples de filtraje morfológico tal como erosión y dilatación de las etiquetas para eliminar pequeñas regiones de ruido. La erosión disminuye el tamaño de los objetos y elimina anomalías; la dilatación incrementa el tamaño de los objetos y rellena agujeros. Sin embargo, la formulación estándar de esas operaciones las hace ser de naturaleza simplistas y por lo tanto son incapaces de incorporar información adicional cuando se aplican.

30 Otras técnicas existentes incluyen el uso de una técnica de dilatación más sofisticada para refinar los resultados. En cada etapa de dilatación, se calcula la probabilidad de que existan puntos cerca del borde de una región segmentada perteneciente a esa región, y se añaden puntos con probabilidades por encima del umbral. La probabilidad se basa en intensidad de imagen dentro de la región.

Otra alternativa consiste en el uso de segmentación por líneas divisorias de color, para mejorar los resultados de la clasificación. La clasificación se usa para extraer marcadores para cada región. La segmentación por línea divisoria se aplica entonces para expandir esas regiones hasta que todos los píxeles han sido etiquetados. Esta expansión se basa en información de color de la región.

35 Dongfeng Han et al., “Cierto Segmentación de Objetos en Base a Aprendizaje AdaBoost y Graph-Cuts Iterativos de Agregación de Nodos” y “Segmentación Automática Basada en Aprendizaje AdaBoost y Graph-Cuts”, divulgan un algoritmo de segmentación automatizado que usa un algoritmo de Cortes de Gráfico iterativo para llevar a cabo segmentación de objetos para una imagen. Específicamente, ambos documentos de Dongfeng Han et al., divulgan un algoritmo de segmentación automatizado de cuatro etapas que incluye las etapas de: aplicar aprendizaje  
40 AdaBoost, es decir, clasificación, para determinar la ubicación de un objeto en una imagen; expandir la ubicación para segmentación; agregación de nodos multi-escala; y, segmentación iterativa de Cortes de Gráfico. Es decir, ambos documentos de Dongfeng et al., divulgan adaptar y automatizar un algoritmo de segmentación básica para mejorar la eficacia del procesamiento para segmentación de objetos en imágenes más grandes construyendo al menos un gráfico de una maneras diferente al algoritmo de segmentación básica. Los expertos en la materia  
45 apreciarán que, con respecto a segmentación de objetos de una imagen, cada píxel de la imagen se considera que es alguno de: fondo, objeto o desconocido. También, se apreciará que Adaboost sólo puede ser usado para determinar píxeles de fondo de modo que el algoritmo de segmentación básica requiere la especificación manual de píxeles asociados al objeto que va a ser segmentado.

50 En consecuencia, el algoritmo de segmentación automatizada de objetos de los documentos de Dongfeng Han et al., incluye las etapas de: recibir resultados de clasificación de una imagen a partir de un algoritmo AdaBoost en forma de un rectángulo con un interior que especifica píxeles de la clase desconocida y un exterior que especifica píxeles de la clase de fondo. El algoritmo incluye además construir un gráfico que tenga una pluralidad de nodos, correspondientes a píxeles de la imagen, y dos etiquetas, correspondientes a las clases de píxel de fondo y desconocida. El algoritmo realiza a continuación las etapas de añadir bordes entre los nodos y añadir bordes entre  
55 cada nodo y cada etiqueta. Un algoritmo de corte de gráfico, que usa el rectángulo obtenido a partir de los resultados de la clasificación, se usa a continuación para cortar los bordes en un nodo y particionar el gráfico en

clases desconocida y de fondo.

5 La publicación de Patente EP 1750226 divulga segmentación de corte de gráfico de una imagen médica previamente segmentada; en particular, describe un método interactivo para editar una pre-segmentación de una imagen usando la técnica de corte de gráficos en la que el problema de la edición se define como una minimización de una función de energía que contiene un término que representa la pre-segmentación; la ponderación para el término de pre-segmentación se basa en la distancia entre la pre-segmentación y los marcadores que un usuario colorea sobre la imagen durante la edición.

Un objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método alternativo para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador.

10 La discusión que antecede de la técnica anterior ha sido incluida para explicar el contexto de la presente invención. Ésta no debe ser tomada como una admisión de que cualquiera de los documentos u otro material mencionado hubiera sido publicado, conocido o que forme parte del conocimiento general común en la fecha de prioridad de una cualquiera de las reivindicaciones de la presente descripción.

**Sumario de la invención**

15 La presente invención proporciona un método para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador según la reivindicación 1.

20 Algoritmos de corte de gráficos calculan una partición óptima de un gráfico en dos o más clases mediante la minimizando de una función de energía. En este caso, la función de energía usa como entrada los resultados de clasificación para elementos y sus elementos relacionados. La aplicación del algoritmo de corte de gráfico puede conducir a la reclasificación de algunos de los elementos que han sido mal clasificados por parte del clasificador, mejorando los resultados de la clasificación.

25 El clasificador que realiza la clasificación inicial puede ser un clasificador multi-clase que haya sido aplicado para clasificar los elementos según una de tres o más clases. Por consiguiente, el algoritmo de corte de gráfico puede ser un algoritmo de corte de gráfico multi-clase para particionar el gráfico en tres o más clases. Un algoritmo de corte de gráfico multi-clase es más complicado que un corte de gráfico binario, pero permite que se proporcione una clasificación de elementos más significativa. Un algoritmo de ese tipo puede incluir un procedimiento de expansión alfa o un procedimiento de expansión alfa y beta según se ha descrito en *Yuri Boykov, Olga Veksler y Ramin Zabih, "Minimización rápida de energía aproximada mediante cortes de gráfico", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 23:1222-1239, Noviembre de 2001*. En expansión alfa, se realiza una serie de cortes de gráfico, segmentando cada vez entre la etiqueta actual para cada nodo, y una etiqueta candidato del conjunto de etiquetas posibles. Este procedimiento se repite, iterando a través de cada etiqueta posible, hasta la convergencia. En la construcción del gráfico, se añaden nodos auxiliares entre nodos adyacentes con diferentes etiquetas, para incluir el costo de este etiquetado en el corte.

35 El clasificador puede ser un clasificador reforzado, que combine la salida de un conjunto de clasificadores débiles para producir un clasificador fuerte. Alternativamente, el clasificador puede ser un árbol de decisiones, un bosque aleatorio, o puede usar Análisis Discriminante Lineal (LDA) o cualquier otra técnica para clasificar los elementos.

40 Los resultados de clasificación procedentes del clasificador pueden incluir un valor de confianza para cada elemento, indicativo de la confianza en la clasificación de ese elemento, y el algoritmo de corte de gráfico puede usar además como entrada el valor de confianza de la clasificación para el elemento correspondiente a ese nodo. Adicionalmente, el algoritmo de corte de gráfico puede usar además como entrada el valor de confianza de la clasificación para elementos relacionados. El corte de gráfico suaviza espacialmente los resultados, reduciendo el ruido en las clasificaciones o en el etiquetado. En particular, se mantendrán normalmente las clasificaciones de alta confianza, mientras que las clasificaciones de baja confianza pueden ser reemplazadas para obtener una salida más homogénea. Por ejemplo, si un elemento de baja confianza está rodeado por elementos relacionados clasificados en la misma clase con alta confianza, puede existir más confianza en la clasificación del elemento de baja confianza. Del mismo modo, si los elementos relacionados están clasificados en una clase diferente con alta confianza, existen razones sólidas para cambiar la clasificación del elemento de baja confianza a esa clase.

50 El algoritmo de corte de gráfico puede usar además como entrada una probabilidad de que los elementos relacionados tengan la misma clasificación. De ese modo, la función de energía minimizada por el algoritmo de corte de gráfico puede incluir términos basados en la confianza de que un nodo dado tenga una etiqueta dada, y la probabilidad de que dos nodos adyacentes tengan etiquetas diferentes.

55 Los elementos que se clasifican pueden ser píxeles de una imagen y los elementos relacionados pueden ser píxeles adyacentes en la imagen. Alternativamente, los elementos pueden ser vóxeles en un volumen 3D, por ejemplo procedentes de un escaneo de MRI, y los elementos relacionados pueden ser vóxeles adyacentes. En otro ejemplo, los elementos podrían ser documentos que estén clasificados conforme a su contenido, y los elementos relacionados podrían ser pares de documentos donde uno contiene una referencia respecto al otro.

5 En un ejemplo, el método puede ser usado para limpiar los resultados de clasificación de píxel de un clasificador entrenado para clasificar píxeles en datos de imagen de un medio de cultivo sólido y cualquier crecimiento microbiano (tal como colonias de bacterias) sobre el medio de cultivo sólido, tal como se ha descrito en la solicitud Internacional en trámite del mismo solicitante y con la misma fecha de depósito, titulada "Método y Software para Analizar Crecimiento Microbiano". Se ha encontrado también que el método mejora los resultados de la clasificación para píxeles, en el ejemplo, para los que un clasificador reforzado tiene una baja confianza en su predicción con el fin de deducir una evaluación microbiológica más precisa del medio de cultivo sólido y de cualquier crecimiento microbiano.

10 Los expertos en la materia apreciarán que el medio será normalmente, por ejemplo, agar y estará contenido normalmente en un contenedor tal como una placa y, en un ejemplo más específico, una placa de Petri, que puede tener una tapa. La combinación del medio y la placa se menciona en lo que sigue a través de la totalidad de la descripción como una "placa de cultivo" que a veces podría ser mencionada en el estado de la técnica como "placa de agar".

15 En una realización, los elementos relacionados incluyen ocho píxeles adyacentes, de modo que cada píxel del gráfico está conectado completamente a los píxeles circundantes de la imagen. Esto podría dar como resultado la partición más precisa del gráfico, pero podría ser computacionalmente caro. Para reducir el cálculo e incrementar la velocidad del algoritmo, se pueden añadir bordes a solamente cuatro píxeles adyacentes, por ejemplo los píxeles de esquina pueden estar conectados al píxel intermedio en un bloque de píxeles de 3 x 3.

20 En otra realización alternativa más, para reducir el cálculo, cada elemento puede ser una región contigua en, por ejemplo, una imagen. Los elementos relacionados pueden ser por lo tanto regiones contiguas adyacentes en la imagen. Un elemento puede ser un grupo de píxeles vecinos que tengan el mismo color y caigan dentro de un recinto. En una imagen de colonias bacterias sobre un medio de cultivo sólido, por ejemplo, cada región circular o colonia detectada por el clasificador puede ser un nodo en el gráfico. Las regiones contiguas pueden incluir también píxeles con la misma clasificación y un valor de confianza por encima de un umbral (por ejemplo, un umbral que defina una alta confianza). Este grupo de píxeles puede definir un simple elemento en el gráfico.

25 El algoritmo de corte de gráfico puede usar además como entrada un tamaño esperado de un objeto de la imagen, tal como el tamaño esperado de la colonia para un tipo de bacterias sobre el medio de cultivo sólido. Esto podría permitir que el algoritmo de corte de gráfico elimine grupos muchos más pequeños que este tamaño. Alternativa o adicionalmente, el algoritmo de corte de gráfico puede usar además como entrada una regla predeterminada con respecto a los píxeles vecinos. Esta regla puede ser obtenida a partir de un sistema experto, y puede incluir información anterior tal como que ciertos tipos de bacterias no crezcan unas junto a otras.

30 Adicionalmente, la presente invención se extiende a un software para su uso con un ordenador que incluye un procesador y memoria para almacenar el software, incluyendo el software una serie de instrucciones ejecutables por el procesador para llevar a cabo el método conforme a una cualquiera de las realizaciones descritas con anterioridad.

35 La presente invención se extiende también a un medio legible con ordenador que incluye el software, y a un aparato que incluye un procesador, una memoria y software residente en memoria accesible para el procesador, siendo el software ejecutable por el procesador para llevar a cabo el método conforme a una cualquiera de las realizaciones descritas con anterioridad.

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

Ahora se van a describir realizaciones de la presente invención, a título de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos que se acompañan. Se comprenderá que la particularidad de los dibujos no sustituye la generalidad de la descripción que antecede de la invención.

45 La Figura 1 es un diagrama funcional de bloques de un ejemplo de sistema de procesamiento para llevar a cabo métodos conforme a realizaciones de la invención;

La Figura 2 es un diagrama de flujo de un método para aplicar un algoritmo de corte de gráfico para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador;

La Figura 3 muestra: (a) un gráfico inicial y (b) un gráfico particionado que muestra el etiquetado después de que se ha aplicado un algoritmo de corte de gráfico;

50 La Figura 4 muestra un gráfico construido con un nodo auxiliar para su uso en el procedimiento de expansión alfa;

La Figura 5 es un conjunto de gráficos que muestran posibles cortes que pueden ser realizados en el procedimiento de expansión alfa.

### Descripción detallada de una realización

Ejemplo de sistema de procesamiento

5 Un ejemplo de sistema de procesamiento para su uso con realizaciones de la invención va a ser descrito con referencia a la Figura 1. El sistema de procesamiento 10 incluye un procesador 12, una memoria 14, al menos un dispositivo de entrada 16, al menos un dispositivo de salida 18, un puerto de comunicaciones 20, una interfaz 22 y un dispositivo de almacenamiento 24. Según se ha mostrado, los componentes del sistema de procesamiento 10 están acoplados entre sí a través de un bus o de un grupo de buses 26.

10 El procesador 12 puede incluir más de un dispositivo de procesamiento, por ejemplo para gestionar diferentes funciones dentro del sistema de procesamiento 10. La memoria 14 puede incluir cualquier dispositivo de memoria adecuado e incluyendo, por ejemplo memoria volátil o no volátil, dispositivos de almacenamiento de estado sólido, dispositivos magnéticos, etc. La memoria 14 puede almacenar instrucciones para su ejecución por medio del procesador 12.

15 El dispositivo de entrada 16 recibe datos de entrada y puede incluir, por ejemplo, un teclado, un ratón u otro dispositivo de puntero, un trackball, un joystick o pantalla táctil, un micrófono, un receptor de datos o antena tal como un módem o un adaptador de datos inalámbrico, una tarjeta de adquisición de datos, etc. Un dispositivo de entrada 16 puede ser operable por un usuario para introducir datos de entrada, o puede recibir datos desde otra fuente de datos de entrada.

20 El dispositivo de salida 18 produce o genera datos de salida. El dispositivo de salida 18 puede incluir un dispositivo de visualización, un conjunto de altavoces de audio, una impresora, un puerto (por ejemplo, un puerto USB), un adaptador de componente periférico, un transmisor de datos o antena tal como un módem o un adaptador inalámbrico de red, etc.

25 El dispositivo de almacenamiento 24 puede incluir cualquier forma de medio de almacenamiento de datos o de información, por ejemplo, memoria volátil o no volátil, dispositivos de almacenamiento de estado sólido, dispositivos magnéticos, etc. Un sistema de archivo y archivos pueden estar almacenados en el dispositivo de almacenamiento 24.

El puerto de comunicaciones 20 permite que el sistema de procesamiento 10 comunique con otros dispositivos a través de una red cableada o inalámbrica. La interfaz 22 acopla el sistema de procesamiento 10 a uno o más de los dispositivos periféricos. Por ejemplo, la interfaz 22 puede incluir una tarjeta de PCI o una tarjeta de PC.

30 El sistema de procesamiento 10 puede consistir en cualquier forma de terminal, sistema de procesamiento de servidor, hardware especializado, ordenador, sistema de ordenador o dispositivo computarizado, ordenador personal (PC), teléfono móvil o celular, terminal de datos móvil, ordenador portátil, Asistente Digital Personal (PDA), buscador o cualquier otro tipo de dispositivo similar.

Método para mejorar los resultados de clasificación

35 Un método para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador puede ser ejecutado en el procesador 12 usando software almacenado en la memoria 14 o en el dispositivo de almacenamiento 24. Se va a describir una realización para limpiar los resultados de clasificación de un clasificador de árbol de decisión reforzado multi-clase, en particular un clasificador usado para clasificar píxeles en datos de imagen de un medio de cultivo sólido sobre una placa de cultivo y cualquier crecimiento microbiano. Un clasificador de ese tipo se encuentra descrito con mayor detalle en la solicitud en tramitación mencionada con anterioridad, y puede ser usado para obtener una evaluación microbiológica del medio de cultivo sólido y de cualquier crecimiento microbiano sobre la placa de cultivo, por ejemplo para detectar la presencia o la ausencia de colonias bacterianas sobre el medio de cultivo sólido.

40 Con referencia a la Figura 2, en la etapa 30, se construye un gráfico con cada nodo correspondiente a un píxel (o uno de una muestra de píxeles) de los datos de imagen. Se añaden también etiquetas, correspondiendo cada etiqueta a una clase. En la etapa 32, se añaden bordes entre nodos correspondientes a píxeles adyacentes o vecinos, y en la etapa 34 se añade un borde entre cada nodo y cada etiqueta. En la etapa 36, se usa el algoritmo de corte de gráfico para cortar bordes para un nodo y para particionar el gráfico en clases, usando el algoritmo de corte de gráfico como entrada los resultados de clasificación de píxel para el píxel correspondiente a ese nodo y los píxeles vecinos.

50 La Figura 3 muestra un ejemplo de un gráfico inicial (a) y de un gráfico particionado (b) que muestra el etiquetado tras el corte. En la Figura 3, un nodo fuente S y un nodo sumidero T corresponden a las posibles etiquetas de nodo. El corte del gráfico determina una etiqueta para cada nodo, cortando el borde entre cada nodo y el sumidero o la fuente, y cortando bordes entre nodos adyacentes con diferentes etiquetas. Cada vez que se corta un enlace particular, se incurre en un costo. En el cálculo del corte de costo mínimo, el procedimiento de corte de gráfico minimiza una función de energía de la forma:

$$E(l, x) = \sum_{i \in N} U(l_i, x_i) + \sum_{p, q \in M} V(l_p, l_q)$$

donde  $l$  es el conjunto de etiquetas,  $N$  es el conjunto de nodos,  $M$  es el conjunto de todos los nodos vecinos,  $x$  son los datos de función,  $U(l_i; x_i)$  asigna un costo a cada nodo para cada posible asignación de etiqueta (implementada como costo sobre el corte del borde para la fuente o el sumidero), y  $V(l_p, l_q)$  asigna un costo a cada borde para asignar diferentes etiquetas a los nodos anexos.

$$U(l_i, x_i) = \min(-\log(1, 0 - p_i(x_i)), 20, 0)$$

$p_i(x_i)$  es la confianza en la asignación de la etiqueta  $l_i$  al vector de función  $x_i$ , calculada con la fórmula para probabilidad de clasificación correcta en un clasificador multi-clase con  $J$  clases donde  $h(x, k)$  es el resultado del clasificador para la clase  $k$ :

$$p_{l_i}(x) = \frac{e^{h(x, l_i)}}{\sum_{k=1}^J e^{h(x, k)}}, \quad \sum_{k=1}^J h(x, k) = 0$$

mientras que:

$$V(l_p, l_q) = \begin{cases} 20.0 & \text{si } l_p \neq l_q \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Otras entradas en el algoritmo de corte de gráfico pueden incluir datos de color de imagen y de borde. Además, el tamaño esperado de la colonia para un etiquetado, podría estar incluido en la asignación de costo  $U(l_i; x_i)$ , Otro factor que puede ser tomado en consideración es una regla predeterminada a partir de un sistema experto, tal como definiciones de tipos de colonias que podrían no aparecer unas cerca de otras o que es probable que aparezcan juntas. Esto puede ser incorporado en el término de alisamiento  $V(l_p, l_q)$ .

Si el número de etiquetas posibles es mayor que 2, se usa un procedimiento de expansión alfa para realizar un etiquetado de clase múltiple a partir de un etiquetado binario. El pseudocódigo para un procedimiento de expansión alfa se proporciona en la página 2 de *Yuri Boykov, Olga Veksler, y Ramin Zabih, "Minimización de energía aproximada rápida a través de cortes de gráfico", IEEE Trans., Pattern Anal. Mach. Intell., 23:1222-1239, Noviembre de 2001*, según se muestra a continuación.

1. Iniciar con un etiquetado arbitrario  $f$
2. Establecer éxito := 0
3. Para cada etiqueta  $\alpha \in \mathcal{L}$ 
  - 3.1 Encontrar  $f' = \arg \min E(f')$  entre  $f'$  dentro de una  $\alpha$ -expansión de  $f$  (Sección 4)
  - 3.2 Si  $E(f') < E(f)$ , establecer  $f := f'$  y éxito := 1
4. Si éxito = 1 goto 2
5. Volver  $f$

El procedimiento repite las etapas 3.1 y 3.2 para cada una de las clases posibles de, por ejemplo, tipo o fondo de bacterias, comprobando si algunas etiquetas de diferentes clases podrían ser conmutadas con la de esa clase sin incrementar la energía total  $E$  del gráfico. Una vez que el procedimiento ha sido repetido para cada clase y no es posible ninguna reducción adicional de energía, se devuelve el etiquetado óptimo.

En la construcción del gráfico, se añaden nodos auxiliares entre nodos adyacentes con diferentes etiquetas, para incluir el costo de este etiquetado en el corte. La Figura 4 muestra la adición de un nodo auxiliar  $a$  entre los nodos  $p$  y  $q$ , y proporciona las ponderaciones de borde para este gráfico. El coste de un corte es igual a la suma de sus pesos de borde. Para cada par de píxeles, un corte debe separar uno de tres agrupamientos de bordes, según se muestra en la Figura 5. El diagrama ha sido tomado de la página 6 del documento de *Yuri Boykov, Olga Veksler y Ramin Zabih*. El procedimiento de expansión alfa determina cuál de los tres agrupamientos tiene el peso mínimo de borde y corta esos bordes. Se asigna un píxel a la etiqueta alfa si el corte separa el píxel de la etiqueta alfa.

Una vez que se ha realizado el corte del gráfico, las clasificaciones resultantes de los píxeles pueden ser analizadas

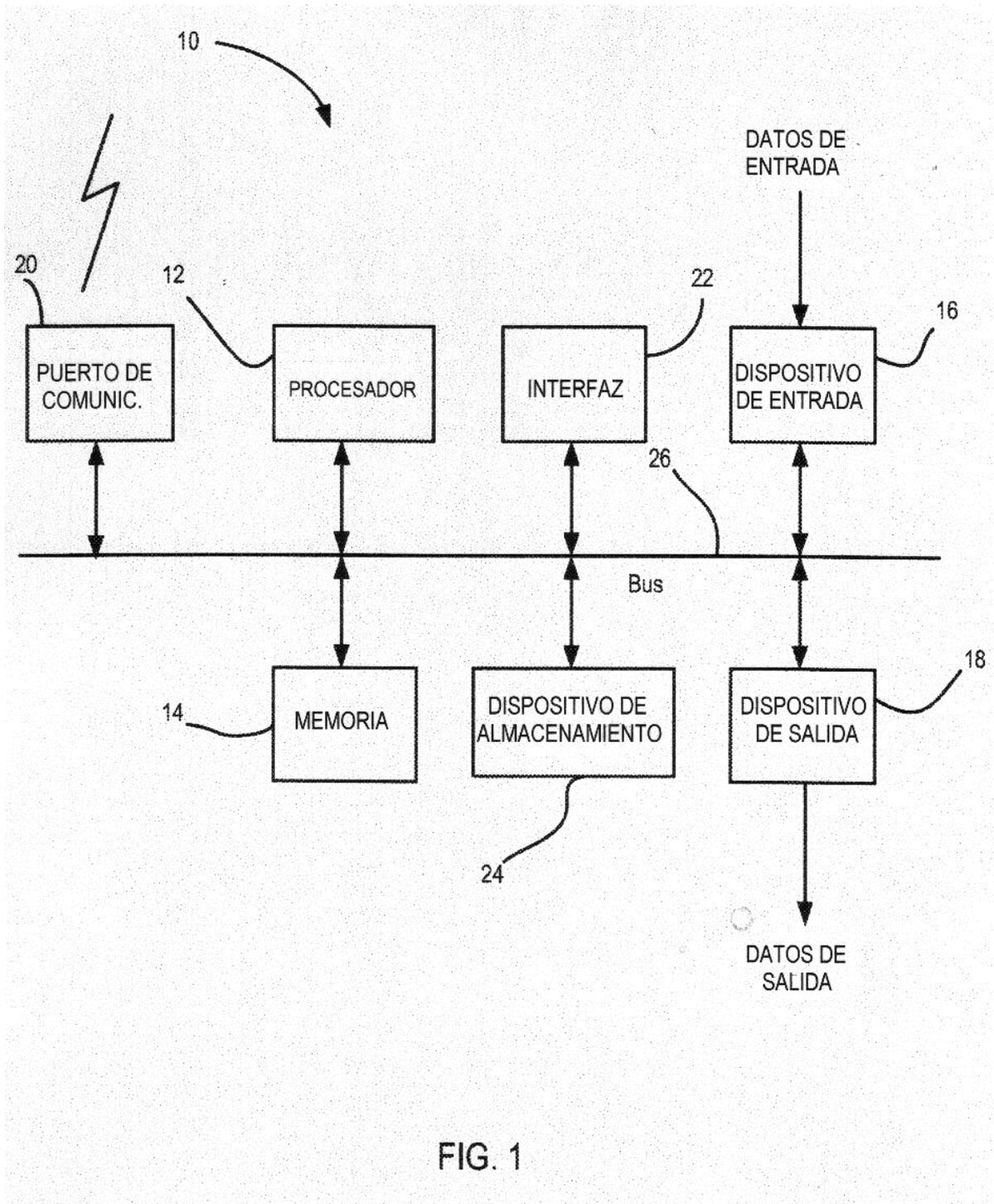
para deducir y presentar a la salida una evaluación microbiológica de crecimiento microbiano sobre el medio de cultivo solido. Esta evaluación puede incluir contar cuántos píxeles están etiquetados en cada clase para determinar los tipos y las cantidades de crecimiento microbiano sobre la placa de cultivo. Esto puede incluir también evaluar si el número de píxeles de una clase particular es mayor que un número predeterminado.

- 5 Se comprenderá que se pueden realizar diversas alteraciones, adiciones y/o modificaciones en las partes descritas en lo que antecede sin apartarse del ámbito de la presente invención, y que, en vista de las enseñanzas anteriores, la presente invención puede ser implementada en software, firmware y/o hardware según una diversidad de maneras como podrán entender los expertos en la materia.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un método para mejorar los resultados de clasificación de un clasificador, que incluye:  
recibir, usando un procesador (12), resultados de clasificación para una pluralidad de elementos que han sido clasificados por un clasificador como una de una pluralidad de clases,
- 5 construir (30), usando un procesador (12), un gráfico que tenga una pluralidad de nodos, correspondiendo cada nodo a uno de los elementos, y una pluralidad de etiquetas, correspondiendo cada etiqueta a una de las clases, en donde cada elemento es un píxel de una imagen y los elementos relacionados son píxeles adyacentes en la imagen, añadir (32), usando un procesador (12), bordes entre nodos correspondientes a los elementos relacionados, y añadir (34), usando un procesador (12), bordes entre cada nodo y cada etiqueta,
- 10 usar (36) un algoritmo de corte de gráfico par cortar bordes en un nodo y particionar el gráfico en clases, donde el algoritmo de corte de gráfico usa como entrada los resultados de clasificación para el elemento correspondiente a ese nodo y los elementos relacionados, caracterizado porque:  
el clasificador es un clasificador multi-clase que ha sido aplicado para clasificar los elementos como una de tres o más clases, y
- 15 los resultados de clasificación incluyen un valor de confianza para cada elemento, que indica confianza en la clasificación de ese elemento como cada una de las tres o más clases, y el algoritmo de corte de gráfico usa además como entrada el valor de confianza de la clasificación para el elemento correspondiente a ese nodo con el fin de cortar los bordes en un nodo y particionar el gráfico en las tres o más clases.
- 2.- Un método según la reivindicación 1, en donde el clasificador es un clasificador reforzado.
- 20 3.- Un método según la reivindicación 1, en donde el algoritmo de corte de gráfico usa además como entrada del valor de confianza de la clasificación para los elementos relacionados.
- 4.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el algoritmo de corte de gráfico usa además como entrada una probabilidad de que los elementos relacionados tengan la misma clasificación.
- 25 5.- Un método según la reivindicación 2, en donde el algoritmo de corte de gráfico incluye un procedimiento de expansión alfa.
- 6.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde los elementos relacionados son ocho píxeles adyacentes o cuatro píxeles adyacentes.
- 7.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde cada elemento es una región contigua de píxeles en la imagen, con preferencia los elementos relacionados son regiones adyacentes contiguas en la imagen.
- 30 8.- Un método según la reivindicación 7, cuando depende de la reivindicación 3, en donde cada región contigua incluye píxeles con la misma clasificación y un valor de confianza por encima de un umbral.
- 9.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el algoritmo de corte de gráfico usa además como entrada un tamaño esperado de un objeto de la imagen.
- 35 10.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el algoritmo de corte de gráfico usa además como entrada una regla predeterminada con respecto a píxeles adyacentes.
- 11.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el clasificador se usa para clasificar píxeles en una imagen de un medio de cultivo sólido y de cualquier crecimiento microbiano sobre el medio de cultivo sólido.
- 40 12.- Un medio legible con ordenador que incluye software para su uso con un ordenador que incluye un procesador (12) y memoria (14) para almacenar el software, incluyendo el software una serie de instrucciones ejecutables por el procesador (14) para llevar a cabo un método según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
- 13.- Aparato (10) que incluye:  
un procesador (12);
- 45 una memoria (14), y  
software residente en la memoria (14) accesible para el procesador (12), incluyendo el software una serie de instrucciones ejecutables por el procesador (12) para llevar a cabo el método según se reivindica en una cualquiera

de las reivindicaciones 1 a 11.



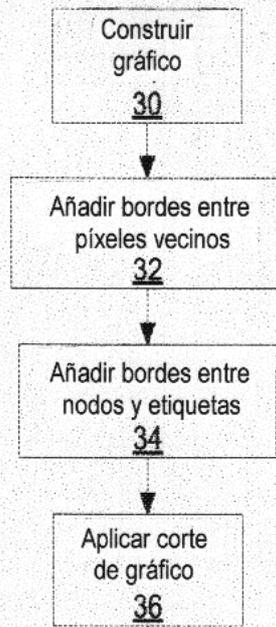


FIG. 2

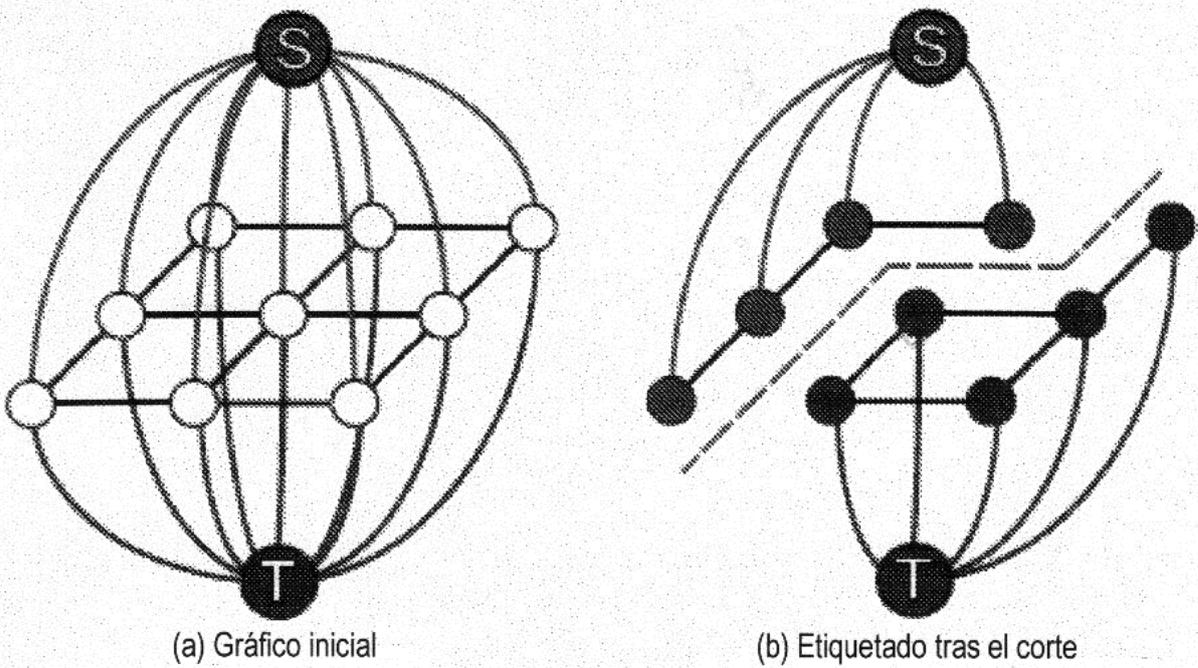


FIG. 3

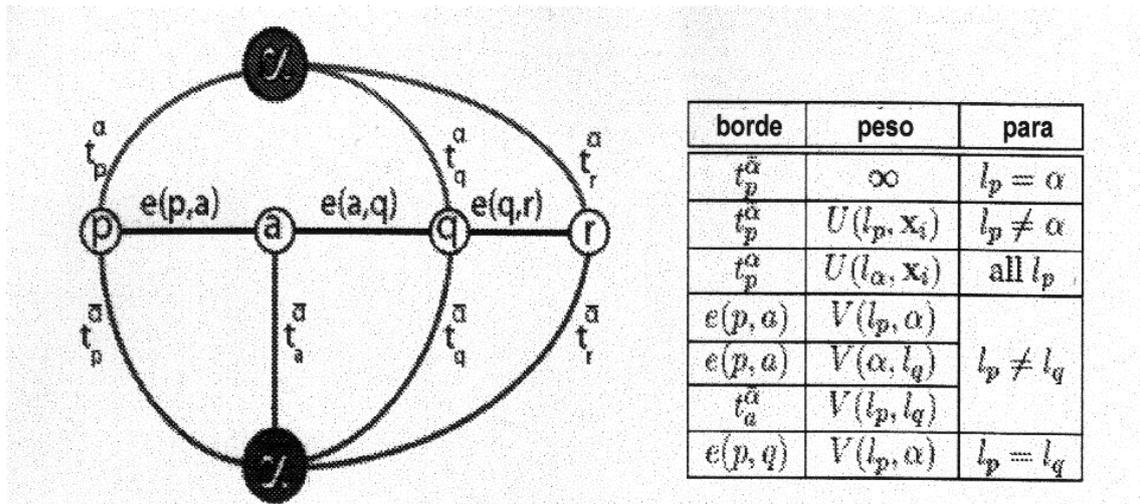


FIG. 4

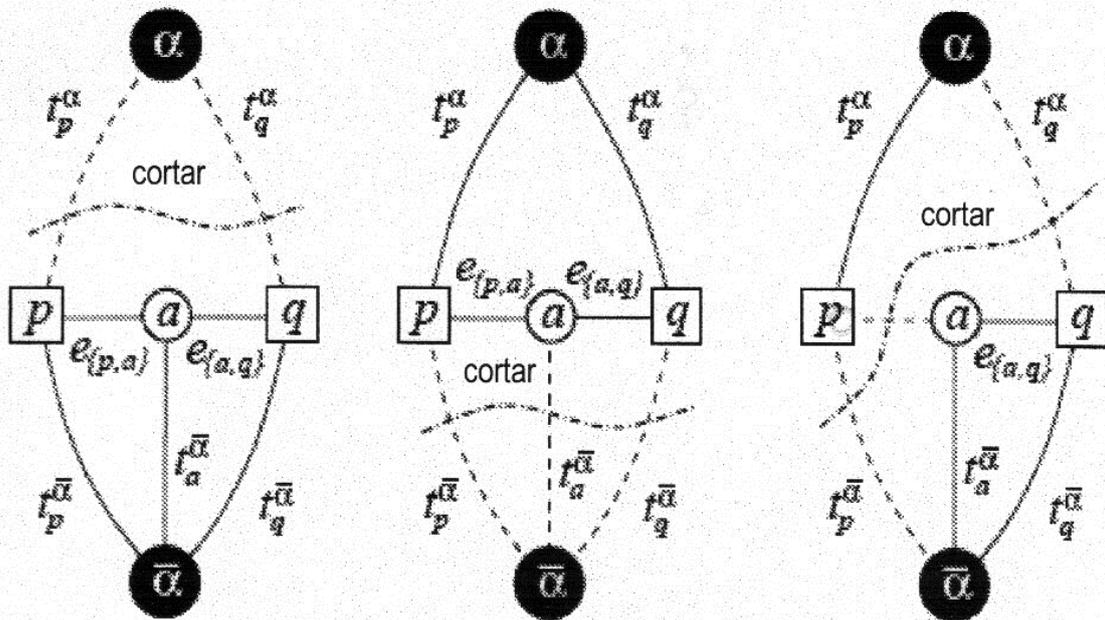


FIG. 5