

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 546**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.06.2010 E 10726166 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2015 EP 2443611**

54 Título: **Método de análisis de imágenes**

30 Prioridad:

16.06.2009 GB 0910316

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

10.07.2015

73 Titular/es:

**THE UNIVERSITY OF MANCHESTER (100.0%)
Oxford Road
Manchester M13 9PL, GB**

72 Inventor/es:

**GRAHAM, JAMES y
DEVLIN, HUGH**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 540 546 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 de análisis de imágenes

- 5 La presente invención se refiere a un método para detectar indicios de caries dental en una imagen de un diente, tal como una radiografía intraoral.
- 10 Aunque en gran medida prevenible, la caries dental es una enfermedad generalizada, que afecta a alrededor del 97% de la población. La caries se produce como resultado de la desmineralización de los dientes causada por el ácido liberado por bacterias en los dientes.
- 15 Si bien es posible un tratamiento terapéutico no quirúrgico temprano de la caries dental, los dentistas son a menudo incapaces de detectar una lesión provocada por caries en una etapa donde tal tratamiento terapéutico puede ser utilizado efectivamente para revertir el proceso de la enfermedad. De hecho, tal tratamiento no quirúrgico es típicamente sólo eficaz mientras que la lesión provocada por caries está confinada al esmalte y antes de que la lesión provocada por caries haya penetrado en la dentina. Si la caries está confinada al esmalte, se puede usar el tratamiento terapéutico no quirúrgico para estimular la remineralización y por lo tanto la reversión de la lesión provocada por caries.
- 20 Las lesiones provocadas por caries que han penetrado en la dentina, por otro lado, son tratables únicamente mediante la remoción del tejido deteriorado y rellenando la cavidad con un material de restauración dental.
- 25 Aunque los dentistas normalmente pueden identificar visualmente grandes lesiones causadas por caries del tipo que puede ser tratado mediante la remoción del tejido deteriorado y el llenado de la cavidad con un material de restauración, tienen dificultades para reconocer los primeros signos de lesiones provocadas por caries y en el registro de la profundidad de tales lesiones causadas por la caries. Esto es especialmente cierto cuando una lesión provocada por caries no ha penetrado en la dentina, que es cuando una lesión provocada por caries está restringida al esmalte. Es difícil examinar visualmente las superficies dentales interproximales, de tal manera que los dentistas dependen de las radiografías para identificar lesiones interproximales. El reconocimiento de que una lesión provocada por caries no ha penetrado en la dentina a través de una radiografía es una tarea clínica desafiante.
- 30 Las dificultades en la identificación de lesiones provocadas por caries restringidas al esmalte significa que en casi todos los casos, la caries dental es tratada mediante odontología restauradora quirúrgica.
- 35 Dadas las dificultades en la detección de las lesiones provocadas por caries, y otras dificultades en la detección de si esas lesiones provocadas por caries han penetrado en la dentina, se han propuesto métodos de análisis automatizado que pueden aplicarse para procesar las radiografías dentales. Actualmente, sin embargo, los métodos propuestos no han sido capaces de permitir una detección de la caries en una forma aceptablemente precisa.
- 40 Un objetivo de algunas realizaciones de la presente invención es obviar o mitigar los problemas expuestos anteriormente.
- 45 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un método, un programa de ordenador, un medio legible por un ordenador y un aparato como se expone en la reivindicación 5 anexa.
- 50 La presente invención proporciona un método en el que áreas de la imagen del diente que se analizan para identificar la caries dental se definen con referencia a un modelo adaptado a un borde exterior del diente. Mediante la definición de las áreas para el análisis con referencia a un modelo de un borde exterior de un diente, se puede lograr una determinación más precisa de la caries. En particular, la adaptación de un modelo al borde exterior de un diente permite que el borde exterior sea localizado en forma precisa en la imagen. Los inventores han encontrado que tal ubicación precisa del borde exterior del diente proporciona una referencia valiosa para la identificación de áreas que deben ser analizadas para detectar indicios de la caries dental. En particular, las variaciones en la imagen en un área de la imagen cerca del borde de un diente (como se identifica mediante el modelo adaptado) pueden ser analizadas para proporcionar los primeros indicios de la caries dental.
- 55 El área de la imagen en la que se analizan las variaciones de imagen puede ser una pluralidad de áreas de la imagen, siendo cada área definida con referencia al modelo adaptado. El área, o cada área de la imagen en la que se analizan las variaciones de imagen pueden ser alargadas. Además, el área o cada área de la imagen en la que se analizan las variaciones de la imagen pueden extenderse generalmente en forma paralela al modelo adaptado y pueden analizarse las variaciones de la imagen en una dirección generalmente paralela al modelo adaptado. Es decir, los inventores han encontrado que teniendo en cuenta la variación de la imagen a lo largo de los perfiles alargados que se extienden generalmente en forma paralela al modelo adaptado permite identificar en forma efectiva los primeros indicios de caries dental.
- 60

- 5 El análisis de las variaciones de la imagen pueden incluir el análisis de los cambios en los valores de los píxeles (por ejemplo, valores en escala de grises) para identificar un máximo o un mínimo local en los valores de los píxeles, por ejemplo un máximo o un mínimo de una magnitud predeterminada. Es decir, mientras que se puede esperar que los valores de píxel a lo largo de los perfiles alargados no incluyan máximos o mínimos de ninguna magnitud grande en un diente sano, las caries dentales pueden ser indicadas por tales máximos o mínimos.
- 10 El análisis de las variaciones de la imagen en un área de la imagen puede comprender la obtención de datos que comprenden valores de píxel para los píxeles en cada una de una pluralidad de áreas de la imagen, cada área que representa una parte del diente y cada área que es definida con referencia al modelo adaptado, combinando los datos obtenidos a partir de la pluralidad de áreas y analizando las variaciones de la imagen en los datos combinados para detectar indicios de la caries dental. Por ejemplo, a fin de reducir los efectos de variabilidad local, los datos obtenidos pueden ser agrupados en grupos de datos obtenidos. Cada grupo puede ser promediado y el análisis realizado sobre los valores agrupados promedio.
- 15 El método puede comprender además definir una pluralidad de proyecciones que se extienden generalmente en forma perpendicular al modelo adaptado, y la definición del área o de cada área por referencia a los puntos correspondientes en cada una de dichas proyecciones. El área o cada área pueden extenderse generalmente en forma paralela al modelo adaptado.
- 20 El método puede comprender además la identificación de una ubicación en la imagen que es una aproximación del centro del diente en la imagen, y la inicialización de un proceso de adaptación del modelo con base en la ubicación identificada para identificar la parte de la imagen que representa un borde exterior del diente.
- 25 La identificación de una ubicación en la imagen que es una aproximación del centro del diente en la imagen puede comprender al menos parcialmente la identificación de los bordes del diente en la imagen, y la identificación de un punto dentro de los bordes identificados para los que la distancia más corta a un borde es un máximo para todos los puntos dentro de los bordes identificados. La ubicación puede estar basada en el punto identificado. La identificación de tal punto puede llevarse a cabo mediante la aplicación de una operación de transformación de la distancia a la imagen.
- 30 Por lo menos parcialmente la identificación de los límites del diente en la imagen puede comprender la detección de los bordes en la imagen, y la identificación de los límites con base en los bordes detectados.
- 35 El método puede comprender además adaptar un modelo a la imagen para identificar una parte de la imagen que representa al menos parte de la unión amelodentinaria.
- 40 Las variaciones de la imagen pueden ser analizadas en áreas entre el modelo adaptado que identifican una parte de la imagen que representa un borde exterior del diente y el modelo adaptado que identifica la parte de la imagen que representa por lo menos parte de la unión amelodentinaria. Tales variaciones pueden ser consideradas como indicativas de la caries dental en el esmalte del diente, que es el área de la imagen entre el modelo adaptado a la parte de la imagen que representa un borde exterior del diente, y el modelo adaptado a la parte de la imagen que representa al menos parte de la unión esmalte dentina.
- 45 Las variaciones de la imagen pueden ser analizadas adicionalmente en una parte de la imagen que representa la dentina del diente definido por el modelo adaptado para la identificación de la parte de la imagen que representa al menos parte de la unión amelodentinaria, para determinar si la caries dental se extiende en la dentina. La caries dental detectada en el esmalte del diente, pero no en la dentina del diente es típicamente adecuada para un tratamiento no quirúrgico.
- 50 La adaptación de un modelo a la imagen para identificar una parte de la imagen que representa un borde exterior del diente puede comprender la adaptación de un primer modelo de borde del diente al lado izquierdo del diente, y la adaptación de un segundo modelo de borde del diente al lado derecho del diente.
- 55 La adaptación de un modelo a la imagen para identificar una parte de la imagen que representa al menos parte de la unión amelodentinaria puede comprender la adaptación de un primer modelo de unión amelodentinaria a una unión amelodentinaria izquierda del diente, y la adaptación de un segundo modelo de unión amelodentinaria a una unión amelodentinaria derecha del diente. La adaptación del modelo de unión amelodentinaria puede estar basada en el modelo adaptado a un borde exterior correspondiente de un diente.
- 60 La imagen puede representar una pluralidad de dientes. Los datos pueden ser generados indicando la presencia de caries dental en cada uno de dichos dientes con base en las variaciones de imagen analizadas.
- El modelo o cada modelo puede ser un modelo de la forma. Por ejemplo, cada modelo puede ser un modelo de distribución

de puntos. Además, cada modelo puede ser un modelo de forma activa.

5 Todos los aspectos de la presente invención pueden ser implementados por medio de métodos, sistemas y aparatos. Las realizaciones de la invención también pueden ser implementadas por medio de programas de ordenador adecuados. Por consiguiente, la invención proporciona tales programas de ordenador y proporciona además medios legibles por ordenador que portan tales programas de ordenador. Tales medios legibles por ordenador incluyen soportadores informáticos tangibles, tales como CD, DVD y disquetes y soportes informáticos intangibles tales como señales de comunicación.

10 Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

15 La Figura 1 es un diagrama de flujo del procesamiento llevado a cabo para adaptar los modelos de forma a una imagen de los dientes de un paciente para identificar en la imagen los bordes exteriores izquierdo y derecho de los dientes y las uniones amelodontinarias izquierda y derecha dentro de los dientes;

La Figura 2 es una radiografía de aleta de mordida de los dientes de un paciente;

20 La Figura 3 es un diagrama de flujo del procesamiento llevado a cabo para encontrar los centros aproximados de los dientes que se muestran en la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2;

La Figura 4 es una imagen binaria generada mediante la aplicación de un umbral adaptativo a la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2;

25 La Figura 5 es una imagen de bordes que muestra los borde en la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2;

La Figura 6 es una imagen generada por la combinación de la imagen de bordes de la figura 5 y una imagen de bordes creada a partir de la imagen de la Figura 4;

30 La Figura 7 es una imagen binaria generada con base en las imágenes de las Figuras 4 y 6, que muestra píxeles de dientes en blanco y píxeles que no son de los dientes en negro;

La Figura 8 es una imagen creada por la realización de una operación de transformación de la distancia euclidiana en la imagen de la Figura 7;

35 La Figura 9 es una imagen creada por la aplicación de un umbral a la imagen de la Figura 8;

La Figura 10 es la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2 en la que están etiquetados los centros aproximados de los dientes;

40 La Figura 11 muestra una ubicación inicial de un modelo de forma activa del borde exterior del diente en el centro de un diente;

45 La Figura 12 muestra los resultados de una primera búsqueda del modelo de forma activa para localizar un borde exterior de un diente;

La Figura 13 muestra los resultados de una segunda búsqueda del modelo de forma activa para localizar con más precisión el borde exterior del diente permitiendo más variabilidad pero con una longitud de búsqueda r más corta;

50 La Figura 14 muestra una ubicación inicial de un modelo de forma activa de la unión amelodontinaria basada en el borde exterior localizado del diente;

La Figura 15 muestra los resultados de una búsqueda del modelo de forma activa para localizar la unión amelodontinaria de un diente;

55 La Figura 16 es una radiografía de aleta de mordida en la que se indica una lesión provocada por caries;

La Figura 17 muestra un área de perfil de la imagen de la Figura 16 que se analiza para detectar lesiones provocadas por caries;

60 La Figura 18 es una ilustración esquemática de un área de perfil de un diente que muestra los perfiles paralelos a un borde modelado del diente que se analizan para detectar lesiones provocadas por caries;

La Figura 19 es un gráfico de los valores de intensidad a nivel de grises en el área del perfil de la Figura 16;

La Figura 20 muestra el gráfico de la Figura 19 después del procesamiento; y

La Figura 21 ilustra esquemáticamente un ordenador dispuesto para llevar a cabo el procesamiento ilustrado en la Figura 1.

Se describe ahora una visión general de un proceso para la localización de los bordes exteriores izquierdo y derecho de los dientes de un paciente, y las uniones amelodentinarias izquierda y derecha de los dientes en una radiografía con referencia al diagrama de flujo de la Figura 1. En la etapa S1, se recibe una radiografía de los dientes del paciente. Preferiblemente, la radiografía es una radiografía de aleta de mordida del tipo normalmente utilizado por los dentistas para detectar la caries dental. La Figura 2 muestra un ejemplo de una radiografía adecuada de aleta de mordida.

Haciendo referencia a la Figura 2, se describe brevemente ahora la estructura pertinente del diente. La Figura 2 muestra siete dientes. Un diente 1 está marcado para ayudar a la descripción. Cada diente comprende una porción 2 de esmalte y una porción 3 de dentina. La unión 4 amelodentinaria es el límite en el que se reúnen la porción 2 del esmalte con la porción 3 de la dentina.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 1, en la etapa S2, se determina un centro aproximado de cada diente. En la etapa S3, se usa el centro aproximado de cada diente como una posición de partida para adaptar los modelos de borde de diente derecho e izquierdo a los bordes izquierdo y derecho de cada diente. En la etapa S4, se usa cada borde exterior de cada diente (identificado por los modelos de borde adaptados de diente derecho e izquierdo) como una posición de partida para adaptar los modelos de unión amelodentinaria derecha e izquierda a las uniones amelodentinaria derecha e izquierda de cada diente. Se apreciará que después de que se completa el procesamiento de la etapa S4, se habrán adaptado cuatro modelos a cada diente, que identifican las posiciones de los bordes exteriores y las uniones amelodentinarias de cada diente. Como se describe a continuación, la identificación de los borde derecho e izquierdo y las uniones amelodentinarias derecha e izquierda de cada diente puede ser útil en la identificación de la caries dental.

A continuación se describe con más detalle el procesamiento llevado a cabo en cada una de las etapas S2 a S4 de la Figura 1 con referencia a las Figuras 3 a 9. En primer lugar, el procesamiento realizado para localizar un centro de cada diente se describe con referencia a la Figura 3.

Haciendo referencia a la Figura 3, en la etapa S5 se aplica un umbral adaptativo a la radiografía de aleta de mordida recibida en la etapa S1 de la Figura 1. El umbral adaptativo se aplica mediante el procesamiento de la imagen en las ventanas de tamaño de 128 x 128 píxeles. Para cada ventana se genera la media de todos los valores de píxeles en esa ventana. El umbral adaptativo para todos los píxeles en la ventana se establece entonces en el 70% del valor medio generado. Si un píxel respectivo tiene un valor que excede el umbral adaptativo para la ventana en la que se encuentra, se fija el píxel para tener un valor de '1' (es decir, para ser de color blanco), mientras que si el píxel tiene un valor que no excede su umbral adaptativo se fija para tener un valor de '0' (es decir, para ser de color negro).

Se apreciará que el tamaño de la ventana y los valores de umbral pueden ser elegidos o calculados utilizando cualquier método adecuado como será evidente para aquellos capacitados en la técnica. Sin embargo, al garantizar que cada ventana, incluya píxeles que representan estructuras dentales y píxeles que representan estructuras que no son de dientes, se genera un umbral que puede distinguir efectivamente píxeles que representan las estructuras del diente a partir de los píxeles que representan estructuras que no son de los dientes. La Figura 4 muestra los resultados de la aplicación de un umbral adaptativo del tipo descrito anteriormente a la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2.

Después del umbral adaptativo de la radiografía de aleta de mordida en la etapa S5, se aplica la detección del borde a la radiografía de aleta de mordida (Figura 2) y la imagen de umbral (Figura 4) para generar las respectivas imágenes de borde en la etapa S6. La Figura 5 es una imagen que muestra los bordes detectados mediante la aplicación de una operación de detección del borde con base en el gradiente a la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2. Se apreciará que se puede utilizar cualquier algoritmo adecuado para detección del borde. La imagen resultante del borde puede ser sometida a una operación de suavizado a fin de mejorar la continuidad de los bordes detectados.

En la etapa S7 se combinan las dos imágenes del borde generadas en la etapa S6 (una generada a partir de la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2 y una generada a partir de la imagen de la Figura 4). La combinación es tal que un píxel en la imagen combinada tiene un valor dado por la adición de los valores del píxel de los píxeles correspondientes de cada una de las imágenes del borde. La imagen combinada se muestra en la Figura 6. La Figura 6 muestra una versión suavizada de la imagen de la Figura 5 combinada con una imagen del borde generada a partir de la imagen de umbral adaptativo de la Figura 4. Haciendo referencia a la Figura 6 se puede observar que, cuando los píxeles de las imágenes de borde se solapan, los píxeles de la imagen combinada son más brillantes que los píxeles que aparecen en sólo una de las

imágenes del borde.

- 5 En la etapa S8 se procesa la imagen combinada para determinar pares de bordes que se pueden clasificar como límites de un solo diente. Por ejemplo, mediante el escaneo de la imagen de la Figura 6 en posición horizontal para los píxeles que superen un umbral particular (el umbral escogido de tal manera que sólo la superposición de píxeles de las dos imágenes del borde superan el umbral) se encontrarán bordes 5 a 10 en los dientes maxilares. Tal escaneo horizontal se realiza para cada fila de píxeles de la imagen sucesivamente. Cada par de bordes encontrado consecutivamente (por ejemplo, 5 y 6, 7 y 8, 9 y 10) define los bordes de un diente. Se pueden determinar entonces los extremos superiores de los dientes maxilares y los extremos inferiores de los dientes mandibulares con base en la terminación de los bordes que definen cada diente.
- 10 La imagen de la Figura 6 también puede ser escaneada verticalmente para identificar píxeles que superen el umbral descrito anteriormente. Tal escaneo vertical se realiza para cada columna de píxeles sucesivamente, y permite la identificación de los bordes inferiores de los dientes maxilares y los bordes superiores de los dientes mandibulares.
- 15 Las operaciones de escaneo horizontal y vertical descritas anteriormente permiten la identificación de los límites de los dientes, y se pueden utilizar, en combinación con la imagen de la Figura 4 para generar la imagen de la Figura 7, en la etapa S9. Más específicamente, después de haber identificado los límites de los dientes, en la imagen de la Figura 7 los píxeles entre los límites identificados tienen valores iguales a aquellos de los píxeles correspondientes en la imagen de la Figura 4.
- 20 El procesamiento pasa luego a la etapa S10 en la que se utiliza una transformación de la distancia, por ejemplo una transformación de la distancia euclidiana, para marcar cada pixel en la imagen generada en la etapa S9 con una distancia desde su borde más cercano. Las marcas de distancia resultantes se utilizan para generar una imagen de la transformación de la distancia tal como la mostrada en la Figura 8. Se puede observar que los píxeles de la imagen de la Figura 8 aumentan su brillo a medida que aumenta la distancia desde su borde más cercano. De esta forma, aquellos píxeles para los que la distancia más corta a un borde es un máximo para todos los píxeles dentro de los límites determinados del diente (es decir, aquellos píxeles cercanos al centro del diente) son los píxeles más brillantes.
- 25 La imagen de la transformación de la distancia generada en la etapa S10 es sometida a una operación de formación del umbral en la etapa S11. La Figura 9 muestra la imagen de la transformación de la distancia de la Figura 8 después de una operación de formación del umbral. La formación del umbral se dispone de tal manera que los píxeles que excedan el umbral mantengan su valor antes de la formación del umbral, mientras que los píxeles que no excedan el umbral tienen un valor de '0' (es decir, aparecen en negro). Como tal, la formación del umbral separa la imagen de la transformación de la distancia en una pluralidad de áreas de píxeles distintos de cero, estando cada área rodeada por píxeles cero.
- 30 En la etapa S12, la imagen de la transformada de la distancia que formó el umbral de la Figura 9 se utiliza para determinar el centro aproximado de cada diente. Como se describió anteriormente, para cualquier diente, el píxel que tiene el valor más alto de distancia define un punto cerca del centro de ese diente. Es decir, si un píxel dentro de un diente con coordenadas (i, j) tiene el valor de distancia más alto, el píxel correspondiente (i, j) de la radiografía de aleta de mordida debe definir un punto cercano al centro de ese diente. Cada área discreta de la imagen de la transformación de la distancia que formó el umbral de la Figura 9 que tiene los valores de píxel diferentes de cero es procesada a su vez para determinar el píxel más brillante en esa área y por lo tanto determinar una estimación del centro de un diente respectivo.
- 35 Se apreciará que debido a que algunos de los dientes en la imagen de la Figura 7 no son estructuras completamente discretas, la transformación de la distancia no determina un centro absoluto, sino que sólo determina un centro aproximado de cada diente. La Figura 10 muestra la radiografía de aleta de mordida de la Figura 2 con los puntos de centro aproximados de cada diente marcado.
- 40 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 1, el procesamiento descrito anteriormente se lleva a cabo en las etapas S1 y S2 para localizar el centro de cada diente. A continuación se describe con más detalle el procesamiento de las etapas S3 y S4.
- 45 En términos generales, y como se describió anteriormente, el procesamiento de las etapas S3 y S4 adapta modelos de distribución de cuatro puntos a cada diente. Es decir, para cada diente, el procesamiento adapta un modelo de distribución de puntos a los bordes exteriores izquierdo y derecho del diente y un modelo de distribución de puntos a las uniones amelodentinarias izquierda y derecha del diente. La naturaleza de los modelos que se adaptan a los dientes y la creación de los modelos se describen ahora antes de describir el proceso de adaptación de los modelos a los dientes. Los modelos utilizados para localizar tanto los límites del diente como las uniones amelodentinarias son de forma similar y por lo tanto, los modelos se describen genéricamente.
- 50 Los modelos utilizados para identificar los límites derecho e izquierdo del diente y las uniones amelodentinarias derecha e izquierda son modelos de distribución de puntos. Los modelos son creados por anotación manual de imágenes de entrenamiento alineadas con un sistema de coordenadas común. Es decir, los puntos que van a ser incluidos dentro del
- 55
- 60

modelo son marcados por un experto humano en una pluralidad de imágenes de entrenamiento. Estos puntos colocados manualmente se utilizan como base para la interpolación a fin de proporcionar un modelo de distribución de puntos. Se ha encontrado que la colocación de 20 puntos a lo largo de un borde del diente, y 11 puntos a lo largo de una unión amelodentinaria permite crear modelos eficaces.

En algunas realizaciones, dos expertos humanos anotan cada uno cada una de las imágenes de entrenamiento, y las anotaciones de cada experto se combinan tomando una media de los puntos marcados, aunque en algunos casos la anotación por parte de un solo experto puede ser suficiente para la generación del modelo.

Cada forma anotada en la forma descrita anteriormente está representada por un vector de la forma respectiva, que comprende una concatenación de las coordenadas de los puntos marcados. El vector de forma x para una forma marcada en particular toma la forma:

$$\mathbf{x} = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n) \quad (1)$$

donde $n = 20$ para un modelo de borde del diente; y
 $n = 11$ para un modelo de unión amelodentinaria.

Se puede calcular un vector de forma medio $\bar{\mathbf{x}}$ de acuerdo con la ecuación (2):

$$\bar{\mathbf{x}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i \quad (2)$$

Donde N es el número de formas.

Se puede usar una pluralidad de vectores de forma, uno para cada imagen de entrenamiento para generar una matriz X , en la que cada fila representa un vector de forma. Cada una de estas formas se traslada, gira y escala de manera que sus centroides coincidan y la suma de las diferencias al cuadrado entre los puntos en cada forma y los de la forma media se reduzcan al mínimo.

Se puede crear una matriz de covarianza S a partir de las formas alineadas calculando primero el vector de forma medio usando la ecuación (2). Para cada forma en el conjunto de entrenamiento se puede calcular la desviación $d\mathbf{x}_i$, de la forma media a partir de la ecuación 3:

$$d\mathbf{x}_i = \mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}} \quad (3)$$

La matriz de covarianza S se calcula luego utilizando la ecuación (4):

$$\mathbf{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d\mathbf{x}_i d\mathbf{x}_i^T \quad (4)$$

Se pueden determinar los vectores propios de la matriz S y se puede crear una matriz P de los vectores propios más significativos t .

De esta manera, cualquier forma puede ser representada de acuerdo con la ecuación (5):

$$\mathbf{x} = \bar{\mathbf{x}} + \mathbf{P}\mathbf{b} \quad (5)$$

donde x es un vector que representa la forma;

$\bar{\mathbf{x}}$ es un vector de forma medio generado a partir de los vectores de forma de las imágenes en el conjunto de entrenamiento (de acuerdo con la ecuación 2);

P es la matriz de los vectores propios descritos anteriormente; y

b es un vector del elemento t de los pesos que se aplican a los vectores propios de la matriz P para generar el vector x para

la forma.

Los componentes de b ($b_i, i = 1...t$) se conocen como parámetros de forma. Los vectores propios P_i están ordenados de acuerdo a su valores propios λ_i , que describen la varianza observada sobre las formas de entrenamiento asociadas a cada vector propio. Es decir los λ_i representan las proporciones de varianza a partir de la forma media que se describen por cada uno de los vectores propios. Al seleccionar un valor de t ($t \leq N$), se puede hacer que el modelo represente alguna proporción elegida de la varianza total observada en las formas de entrenamiento.

Cada vector propio incluido en la matriz P representa un modo de variación de la forma modelada. Mediante la variación de los valores de los elementos del vector b se permite la generación de formas dentro del rango observado dentro de las imágenes de las imágenes de entrenamiento. Es decir, la variación de un elemento b_1 del vector b afectará una característica de la forma modelada, mientras que la variación de un segundo elemento b_2 afectará una característica diferente de la forma modelada.

Se apreciará además que se pueden crear los modelos de distribución de puntos para cada uno de los bordes izquierdo y derecho y las uniones amelodentinarias izquierda y derecha de los diferentes tipos de dientes. Por ejemplo, se pueden crear los modelos de distribución de puntos separados para molares y premolares. Alternativamente, los mismos modelos de distribución de puntos se pueden usar tanto para molares como para premolares. Del mismo modo, se pueden crear diferentes modelos de distribución de puntos para las partes pertinentes de los dientes superiores e inferiores.

Habiendo descrito la creación de un modelo de distribución de puntos, se describe ahora con más detalle la adaptación de ese modelo de distribución de puntos a las imágenes en las etapas S3 y S4 de la Figura 1.

Como se indicó, un modelo de borde de diente exterior se adapta a un diente (etapa S3) antes de adaptar un modelo de la unión amelodentinaria a ese diente (etapa S4). En la adaptación de los modelos de distribución de puntos al diente, se utilizan los modelos de distribución de puntos como modelos de forma activa (MFA). En términos generales, un modelo de forma activa es un modelo estadístico de la forma, tal como un modelo de distribución de puntos (anterior) que se puede ajustar iterativamente para adaptar los datos de la imagen al tiempo que se conservan las restricciones de forma expresadas por el modelo. Los MFA se describen con más detalle en Cootes, T.F.; Taylor C.J.; Cooper, D.H.; y Graham, J: "Active Shape Models - Their Training and Application" Computer Vision and Image Understanding, vol 61 (1) páginas 38 - 59; 1995. Los MFA se describen con más detalle en "Model-Based Methods in Analysis of Biomedical Images" en Ed. R. Baldock y J. Graham, "Image Processing and Analysis", Capítulo 7, páginas 223 - 248, Oxford University Press, 2000, o en P. Danny Allen et al.: "Detecting Reduced Bone Mineral Density From Dental Radiographs Using Statistical Shape Models", IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol. 11, no. 6, páginas 601-610, 1 de noviembre de 2007.

En la etapa S3, se adapta un modelo de distribución de puntos generado previamente del borde exterior de un diente a la radiografía de aleta de mordida. El centro del diente, determinado como se describió anteriormente con referencia al procesamiento de la Figura 3, se utiliza para inicializar la adaptación del modelo de distribución de puntos generado previamente.

En términos generales, los modelos de distribución de puntos que actúan como MFA se adaptan utilizando un proceso de refinamiento local iterativo. En la etapa S3 de la Figura 1, para adaptar el modelo de borde del diente exterior a un diente, se define una forma inicial mediante la forma promedio del modelo de forma relevante. La forma 15 inicial se coloca en el punto 16 central de un diente, como se muestra en la Figura 11. El MFA luego intenta localizar correctamente el borde del diente.

Como se describió anteriormente, un ejemplo del modelo de distribución de puntos (MDP) es esencialmente un conjunto de puntos que definen el límite de una forma. En cada punto de la forma de inicio (que es la forma media en algunas realizaciones aunque se puede incluir información de la postura para tener en cuenta la orientación del diente), se realiza una búsqueda a lo largo de una línea perpendicular al borde de la forma en ese punto para la ubicación del mejor candidato para mover ese punto en la próxima iteración de la búsqueda. En esta implementación particular, la mejor ubicación se define como la posición del gradiente máximo donde la polaridad del gradiente es tal que la intensidad de la imagen cambia desde clara dentro del diente a oscura en el exterior del diente. La distancia a lo largo de la perpendicular incluida en esta búsqueda se conoce como la 'Longitud del Perfil', y su relevancia se discute en forma más detallada a continuación.

Al permitir que cada punto modelado varíe independientemente dará como resultado la generación de formas que no están legalmente definidas por el modelo de distribución de puntos, y por lo tanto es necesario limitar el movimiento de los puntos uno respecto al otro. A partir de la ecuación (5) el cambio en el vector del parámetro db resultante de un cambio en la forma dx está dado por la ecuación (6):

$$db = P^T dx \tag{6}$$

La ecuación (6) proporciona una restricción sobre la variación permitida en la forma mediante la restricción de los modos de variación a aquellos descritos por el modelo de distribución de puntos.

También se requiere una limitación adicional para restringir la cantidad del modelo de forma total puede variar de la forma media. Es decir, incluso con la limitación de la ecuación (6) todavía es posible producir formas que no se asemejen suficientemente a una probable forma del borde del diente exterior. Esto se logra mediante la toma de los datos apropiados de las imágenes de entrenamiento. Más específicamente, teniendo en cuenta cada parámetro de forma b_i y su valor propio asociado λ_i , sería de esperar que la suma de la ecuación (7) deba seguir una distribución χ^2 .

$$\sum_{i=1}^l \frac{b_i^2}{\lambda_i} \quad (7)$$

Por lo tanto, fijando un límite en la suma de la ecuación (7), usando el área bajo la distribución χ^2 , se puede retener la proporción deseada de la varianza observada en el conjunto de entrenamiento para imágenes a las que se adapta el modelo.

Como se indicó, los valores del vector b se modifican iterativamente hasta que se determina una distribución de los puntos que se considera que es suficientemente precisa. La modificación iterativa normalmente termina cuando los cambios en las posiciones entre iteraciones posteriores son suficientemente pequeños.

En cualquier búsqueda del MFA se necesita establecer una serie de parámetros tales como la longitud del perfil de la muestra, el grado de restricción de la forma del MDP (definido por la suma de la ecuación (7)), el número de niveles de resolución, etc. En los experimentos realizados, se determinaron empíricamente estos parámetros.

Con el fin de equilibrar la robustez y la precisión, se pueden realizar una pluralidad de búsquedas del MFA usando diferentes parámetros con cada búsqueda. En experimentos se ha encontrado que la realización de dos búsquedas del MFA proporciona buenos resultados para localizar el borde exterior del diente. Más específicamente, se puede usar una primera búsqueda para generar una adaptación aproximada y se puede usar luego una segunda búsqueda para adaptar en forma más precisa el MFA al borde exterior del diente. La primera búsqueda utiliza una longitud del perfil relativamente larga para permitir que el MFA se mueva desde una posición inicial en el centro del diente hasta el borde exterior del diente aunque está relativamente limitada a la forma media (como se indica mediante la ecuación 7). Una vez que se ha establecido una adaptación aproximada, se puede acortar la longitud de la búsqueda, y la restricción de la forma del MDP se puede restringir, para permitir una mayor variabilidad de la media.

La Figura 12 muestra los resultados de la realización de una primera búsqueda del MFA desde la posición de partida mostrada en la Figura 11 usando una longitud de perfil relativamente larga de 25 píxeles y una restricción de la forma del MDP de aproximadamente 30% de la media. Se puede observar que mientras que la búsqueda del MFA ha localizado exitosamente el borde exterior del diente, el modelo 15 no está adaptado en forma precisa al borde exterior.

La Figura 13 muestra los resultados de la realización de una segunda búsqueda desde la posición mostrada en la Figura 12 usando una longitud del perfil relativamente corta de 10 píxeles y una restricción de la forma del MDP (definida por la ecuación (7)) de aproximadamente 99% de la media (es decir, permitiendo una mayor varianza). Se puede observar que después de la segunda iteración, el modelo 15 está adaptado con más precisión al borde exterior del diente.

Utilizando los parámetros de longitud del perfil y la restricción de la forma del MDP descrita anteriormente, la primera búsqueda le permite a los puntos del modelo moverse suficientemente lejos del centro para alcanzar el borde exterior del diente, mientras que al mismo tiempo asegura que la forma del modelo no varía tan lejos de la media que no se pueda adaptar al borde exterior del diente. Una vez que se encuentra aproximadamente el borde exterior del diente, se puede acortar la longitud del perfil ya que los puntos del modelo tienen menos distancia para viajar, y la restricción de la forma del MDP se puede configurar para permitir que los puntos del modelo se adapten más cercanamente al borde exterior del diente, incluso si la forma del borde del diente varía significativamente de la forma media.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 1, una vez que el borde exterior del diente ha sido localizado con precisión en la etapa S3, se utiliza una búsqueda del MFA para localizar la unión amelodentinaria en la etapa S4.

En algunas imágenes, la diferencia en intensidad entre la dentina y el esmalte puede no ser suficientemente grande para permitir una búsqueda basada en el borde más fuerte. En lugar de eso, se utiliza el conjunto de entrenamiento para construir un modelo estadístico de la estructura de nivel gris alrededor de la unión amelodentinaria mediante un muestreo a lo largo

de un perfil normal para cada punto del modelo de unión amelodentinaria en cada imagen en el conjunto de entrenamiento. A fin de reducir los efectos del cambio global de intensidad a lo largo del perfil, se puede muestrear el derivado a lo largo del perfil en lugar de los valores absolutos en escala de grises.

- 5 En cada iteración en la búsqueda del MFA se toma un perfil en una normal a los puntos de modelo adaptado, y estas muestras se usan como base para la comparación con el modelo de forma estadística para determinar una calidad de adaptación. En los experimentos, se inicializó el MFA de unión amelodentinaria de tal manera que se localizó un cuarto punto de un extremo del modelo de unión amelodentinaria en un punto seleccionado del MFA adaptado del borde exterior del diente. Durante la búsqueda, se mantuvo fijo este cuarto punto dejando que los otros puntos se muevan a lo largo de sus normales para encontrar la unión amelodentinaria. Este procedimiento se repitió seleccionando cada punto del MFA adaptado del borde exterior del diente para que corresponda con el cuarto punto del modelo de unión amelodentinaria sucesivamente, lo que resulta en una pluralidad de modelos adaptados de unión amelodentinaria. La mejor adaptación de los modelos adaptados de unión amelodentinaria se escoge seleccionando la adaptación que tiene la distancia de Mahalanobis asociada más baja. El uso de la distancia de Mahalanobis como una medida de calidad de la adaptación es bien conocido por aquellos capacitados en la técnica. En términos generales, la distancia de Mahalanobis entre dos perfiles es la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores de perfil correspondientes ponderados por la inversa de la matriz de covarianza.
- 10
- 15
- 20 La Figura 15 muestra los resultados de realizar una búsqueda MFA como se describió anteriormente con una restricción de la forma del MDP de aproximadamente el 30% a partir de la posición mostrada en la Figura 14. Se puede observar que el MFA 18 ha logrado localizar con precisión la unión amelodentinaria del diente 17. En los experimentos, no ha sido necesario realizar múltiples búsquedas para localizar la unión amelodentinaria, aunque se apreciará que se puede realizar si se desea una búsqueda de resolución múltiple.
- 25 Se realiza una búsqueda del MFA para cada uno de los bordes izquierdo y derecho, y las uniones amelodentinarias izquierda y derecha para cada diente, adaptando de este modo los modelos a cada uno de los bordes derecho e izquierdo y las uniones amelodentinarias izquierda y derecha del diente. A continuación se describe la ubicación de estas características anatómicas en la detección de caries dental.
- 30 La Figura 16 es una radiografía adicional de aleta de mordida que muestra una lesión 26 provocada por caries en un diente 25, estando la lesión 26 provocada por caries indicada con un círculo para ayudar a la visualización. La lesión provocada por caries aparece como un área relativamente oscura en la radiografía de aleta de mordida.
- 35 Con el fin de detectar tales lesiones provocadas por caries, se examinan los píxeles de la imagen del diente por el oscurecimiento. Se muestrean los valores de intensidad en escala de grises de los píxeles a lo largo de perfiles paralelos al borde del diente detectado. El primer perfil a lo largo de la cual se muestrean los valores de intensidad en escala de grises están definidos por el borde del diente detectado (identificado por la adaptación de los modelos de borde del diente descritos anteriormente). Se muestrean los valores de intensidad de nivel gris a lo largo de una cantidad de perfiles posteriores (paralelos al borde del diente detectado) que continúan en la dentina (el comienzo de la dentina identificada por la adaptación de los modelos de unión amelodentinaria descritos anteriormente). Se examinan los perfiles que se extienden un poco en la dentina. Se apreciará que a medida que una lesión provocada por caries se extiende más en la dentina, el oscurecimiento de la imagen de la radiografía es probable que se vuelva más pronunciado, haciendo más factible la identificación visual de una lesión provocada por caries por parte un especialista entrenado. Los siguientes métodos son por lo tanto de más uso donde no está claro si una lesión provocada por caries se extiende dentro de la dentina. Por tanto, a menudo es innecesario muestrear los perfiles que se extienden distancias significativas en la dentina, aunque se apreciará que puede variar el número de perfiles dentro de la dentina a lo largo de los cuales se muestrean los valores de píxel.
- 40
- 45
- 50 La Figura 17 ilustra el área 27 del diente 25 en la que se muestrean los píxeles a lo largo de perfiles paralelos al borde del diente en la dirección general de la flecha 28. Los perfiles se pueden definir de cualquier forma adecuada como será evidente para aquellos expertos en la técnica. Por ejemplo, las proyecciones se pueden definir en forma perpendicular a cada uno de una pluralidad de puntos en el borde del diente, y se puede definir una pluralidad de puntos en cada proyección. Se pueden definir luego perfiles paralelos al borde de diente con base en los puntos correspondientes en cada una de la pluralidad de proyecciones.
- 55 La Figura 18 es una ilustración esquemática de los perfiles 30 a lo largo de los cuales se muestrean los valores de intensidad en escala de grises. Se puede observar que un borde 31 del diente comprende una pluralidad de puntos 32 a partir de los cuales se extiende una proyección 33 normal al borde del diente en ese punto. Los valores de intensidad en escala de grises se pueden muestrear en los puntos 34 a lo largo de las proyecciones 33 con el fin de definir los perfiles 30. También se muestra en la Figura 18 una unión 35 amelodentinaria. Se apreciará que las muestras también se toman a lo largo del borde 31 del diente.
- 60

- 5 Habiendo identificado los perfiles deseados, las muestras pueden ser procesadas hasta una resolución de subpíxeles para proporcionar una mayor precisión. Es decir, cuando se muestrean valores de intensidad en escala de grises de un píxel particular en un punto 34, puede ser deseable procesar los valores de intensidad en escala de grises de ciertos píxeles que rodean el píxel particular a fin de obtener una muestra más precisa. Por ejemplo, cuando un punto 34a de ejemplo no cae precisamente en el centro de un píxel, se puede obtener un valor que está asociado con el punto 34a por interpolación entre los valores de píxeles vecinos. Se apreciará que una interpolación de este tipo puede lograrse de varias maneras, utilizando, por ejemplo técnicas bilineal, bicúbicas u otras técnicas de interpolación. El procesamiento de muestras con una resolución a nivel de subpíxeles es especialmente útil cuando la radiografía de aleta de mordida tiene una resolución baja.
- 10 Los valores en escala de grises de la muestra se pueden representar en un gráfico como se muestra en la Figura 19 donde el eje x mide la distancia a lo largo de cada perfil de diente en la dirección de la flecha 28 de la Figura 17. El eje y indica el valor de intensidad en escala de grises de un punto de muestreo particular. El gráfico en la posición más alta está marcado para indicar que las muestras de ese gráfico se toman del perfil más interior, mientras que las muestras del gráfico más inferior se toman del borde del diente.
- 15 Como puede verse en el gráfico de la Figura 19, es posible que gráficos individuales exhiban picos o caídas como resultado de ruido o de artefactos en la imagen de la radiografía. Para compensar esta variabilidad aleatoria, los perfiles se promedian sobre más de cinco perfiles vecinos. Promediando los perfiles graficados en la Figura 19 sobre más de cinco perfiles vecinos da como resultado el gráfico mostrado en la Figura 20 donde los ejes son los mismos que los de la Figura 19.
- 20 Contando con el gráfico del perfil promediado de la Figura 20 es posible determinar las posibles regiones de caries mediante el examen de los gráficos para las caídas en la intensidad en escala de grises repetidas en un número predeterminado de gráficos. La lesión 26 provocada por caries ha sido identificada en el gráfico de la Figura 20 y se indica con una elipse 36.
- 25 Después de haber ubicado una lesión particular provocada por caries, la determinación de si esa lesión se extiende en la dentina se puede lograr mediante la determinación del último perfil que exhibe la caída de intensidad identificada y determinar además si ese perfil está más allá de la ubicación de la unión amelodentinaria identificada por el montaje del MFA de la unión amelodentinaria en la etapa S4 de la Figura 1.
- 30 El procesamiento de la Figura 1 descrito anteriormente puede llevarse a cabo usando un ordenador que tiene componentes como los mostrados en la Figura 21.
- 35 Se puede observar que el ordenador comprende una UPC 40 que está configurada para leer y ejecutar instrucciones almacenadas en una memoria 21 volátil que toma la forma de una memoria de acceso aleatorio. La memoria 41 volátil almacena instrucciones para su ejecución por la UPC 40 y los datos utilizados por dichas instrucciones. Por ejemplo, en uso, las instrucciones para realizar el procesamiento de la Figura 1 se puede almacenar en la memoria 41 volátil.
- 40 El ordenador 40 comprende además almacenamiento no volátil en forma de una unidad 42 de disco duro. El ordenador 40 comprende además una interfaz 43 I/O a la que están conectados los dispositivos periféricos utilizados junto con el ordenador 40. Más particularmente, una pantalla 44 está configurada de manera que para mostrar la salida del ordenador 40. La pantalla 44 puede, por ejemplo, mostrar radiografías de aleta de mordida, y los resultados del procesamiento de un análisis realizado en las radiografías de aleta de mordida como se describió anteriormente. Los dispositivos de entrada también están conectados a la interfaz 43 I/O. Tales dispositivos de entrada incluyen un teclado 45 y un ratón 46 que permiten la interacción del usuario con el ordenador. Una interfaz 47 de red permite que el ordenador esté conectado a una red informática adecuada a fin de recibir y transmitir datos (tales como radiografías de aleta de mordida y los resultados del procesamiento de esas radiografías de aleta de mordida) desde y hacia otros dispositivos informáticos. La UPC 40, la memoria 41 volátil, la unidad 42 de disco duro, la interfaz 43 I/O, y la interfaz 47 de red, están conectados entre sí por un bus 48.
- 45 Se ha descrito anteriormente que los modelos de distribución de puntos se utilizan para localizar el borde exterior del diente y la unión amelodentinaria, y se ha descrito un ejemplo que utiliza modelos de forma activa. Se apreciará fácilmente por aquellos capacitados en la técnica que se pueden utilizar otras técnicas de modelado adecuadas, solas o en combinación, para la ubicación de uno, o ambos entre los bordes exteriores del diente y las uniones amelodentinarias. Por ejemplo, los bordes exteriores del diente pueden ser localizados mediante la adaptación de una variedad de modelos estadísticos de forma y/o apariencia, generados a partir de un conjunto de imágenes de entrenamiento anotadas. Se pueden utilizar los modelos adaptados de borde exterior del diente, como se describió anteriormente, para inicializar la adaptación de los modelos de unión amelodentinaria.
- 50 Los enfoques adecuados para la modelización incluyen modelos de apariencia activos (MAA) y variantes de los mismos. Los MAA son bien conocidos en la técnica y se describen en Cootes, T.F.; Edwards, G.J. y Taylor, C.J: "Active Appearance Models", IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. 23, No. 6, 2001. Ejemplos de variantes
- 55
- 60

5 aplicables de los MAA se describen adicionalmente en "Roberts, M.G, Cootes, T.F y Adams, J.E: "Robust Active Appearance Models with Iteratively Rescaled Kernels", British Machine Vision Conference, 2007; Scott, I.M, Cootes, T.F y Taylor, C.J: "Improving Appearance Model matching Using Local Image Structure", Information Processing in Medical Imaging, 18a Conferencia Internacional, páginas 258-269, 2003; y Saragih, J. y Goecke, R: "A Nonlinear Discriminative Approach to AAM Fitting". Cualquiera o todas estas técnicas de modelado pueden usarse en las técnicas descritas anteriormente, al igual que otras técnicas adecuadas.

10 Las realizaciones de la presente invención han sido descritas anteriormente. Se apreciará que las realizaciones descritas no son en modo alguno limitantes. De hecho, serán evidentes muchas variaciones a las realizaciones descritas para una persona ordinariamente capacitada, y tales variaciones están dentro del alcance de la presente invención como se expone en las reivindicaciones anexas.

Reivindicaciones

1. Un método para analizar una imagen de un diente, comprendiendo el método:
- 5 adaptar un modelo a la imagen para identificar una parte de la imagen que representa un borde exterior del diente; estando el método **caracterizado por:**
- 10 analizar las variaciones de la imagen en un área de la imagen para detectar indicios de la caries dental, representando el área de la imagen una parte del diente y que se define con referencia al modelo adaptado; y
- 15 generar datos que indican la presencia de caries dental con base en dichas variaciones de la imagen analizada.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el área de la imagen en la que se analizan las variaciones de la imagen es una pluralidad de áreas de la imagen, estando cada área definida con referencia al modelo adaptado.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el área o cada área de la imagen en la que se analizan las variaciones de la imagen es un área alargada.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en donde el área o cada área de la imagen en la que se analizan las variaciones de la imagen se extiende generalmente paralela al modelo adaptado y se analizan variaciones de la imagen en una dirección generalmente paralela al modelo adaptado.
5. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en donde el análisis de las variaciones de la imagen comprende el análisis de los cambios en valores de los píxeles para identificar un máximo o un mínimo local en los valores del píxel.
6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende además:
- 30 definir una pluralidad de proyecciones que se extienden generalmente en forma perpendicular al modelo adaptado; y
- definir el área o cada área por referencia a puntos correspondientes en cada una de dichas proyecciones.
7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende además:
- 35 identificar una ubicación en la imagen que es una aproximación del centro del diente en la imagen; y
- adaptar el modelo con base en la ubicación identificada.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la identificación de una ubicación en la imagen que es una aproximación del centro del diente en la imagen comprende:
- 40 identificar al menos parcialmente los límites del diente en la imagen; y
- 45 la identificación de un punto dentro de los límites identificados para el cual la distancia más corta a un límite es un máximo para todos los puntos dentro de los límites identificados;
- en donde la ubicación se basa en el punto identificado.
9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde la identificación al menos parcial de los límites del diente en la imagen comprende:
- 50 la detección de los bordes en la imagen; y
- 55 la identificación de los límites con base en los bordes detectados.
10. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende además:
- 60 adaptar un modelo a la imagen para identificar una parte de la imagen que representa al menos parte de la unión amelodentinaria.

11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde las variaciones de la imagen se analizan en las áreas entre el modelo adaptado que identifica una parte de la imagen que representa un borde exterior del diente y el modelo adaptado que identifica la parte de la imagen que representa al menos parte de la unión amelodentinaria.
- 5 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde las variaciones de la imagen se analizan adicionalmente en una parte de la imagen que representa dentina del diente definida por el modelo adaptado que identifica la parte de la imagen que representa al menos parte de la unión amelodentinaria, para determinar si la caries dental se extiende en la dentina.
- 10 13. Un programa de ordenador que comprende instrucciones legibles para un ordenador configurado para provocar que un ordenador lleve a cabo un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
14. Un medio legible para un ordenador que porta un programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 13.
- 15 15. Un aparato para el análisis de una imagen de un diente, comprendiendo el aparato:
medios para adaptar un modelo a la imagen para identificar una parte de la imagen que representa un borde exterior del diente; estando el aparato **caracterizado por**:
- 20 medios para analizar las variaciones de la imagen en un área de la imagen para detectar indicios de caries dental, el área de la imagen que representa una parte del diente, y estando definida el área con referencia al modelo adaptado; y
medios para generar datos que indican la presencia de caries dental con base en dichas variaciones analizadas de la imagen.
- 25

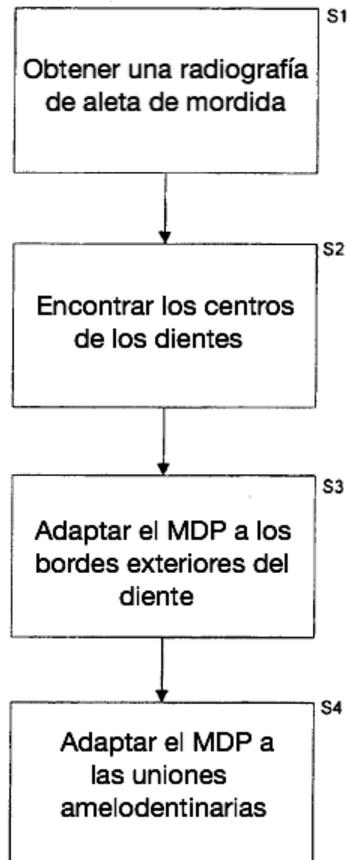


Fig 1

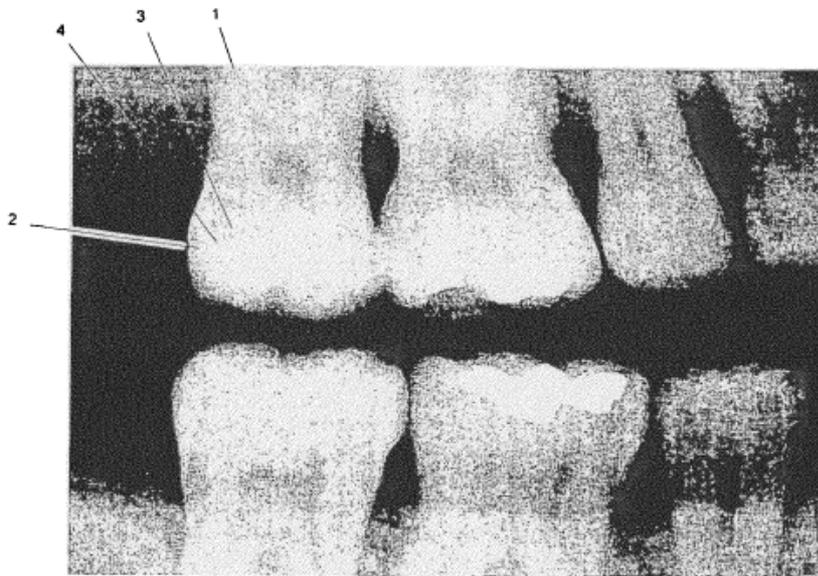


Fig 2



Fig 4

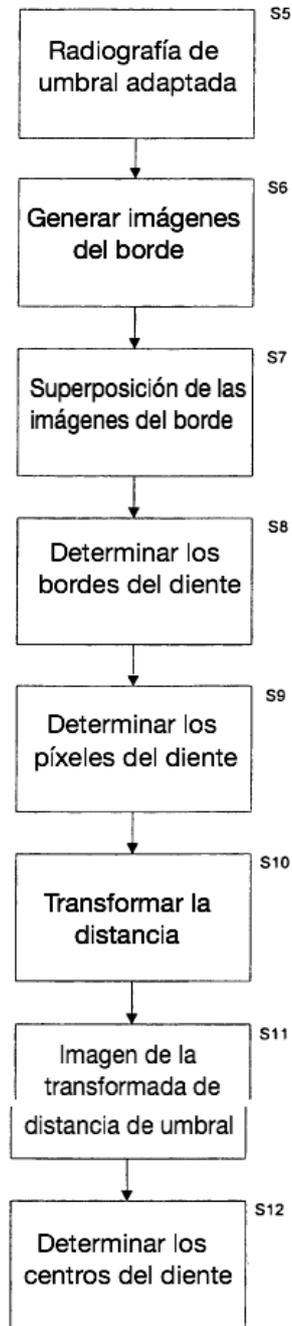


Fig 3



Fig 5

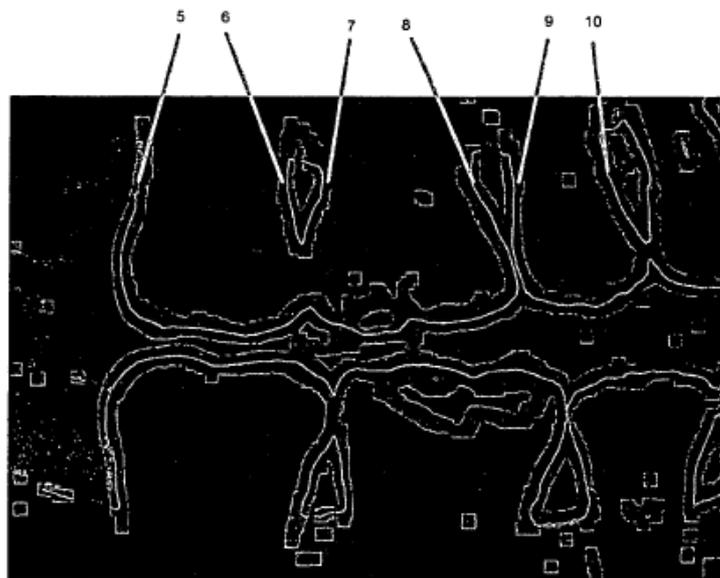


Fig 6



Fig 7

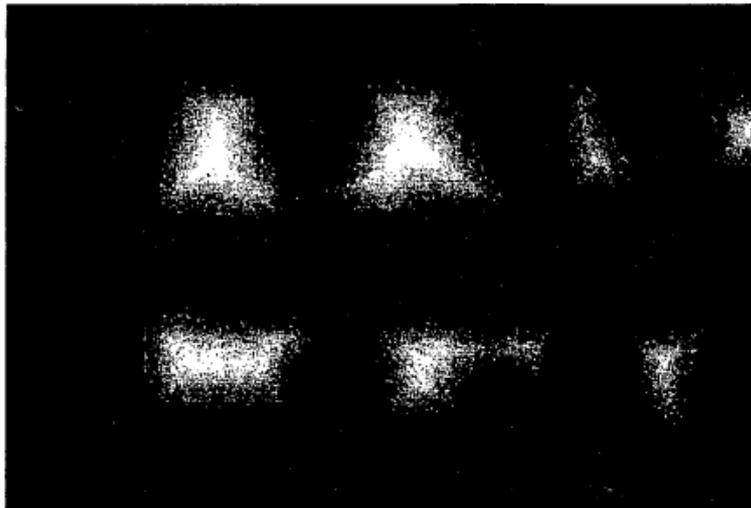


Fig 8



Fig 9

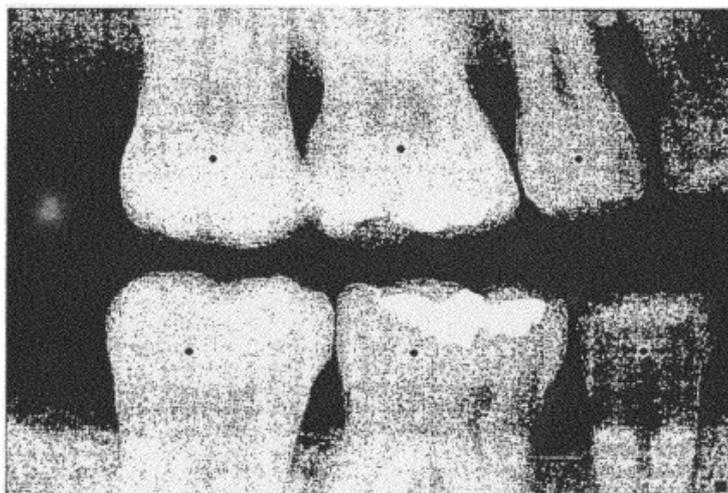


Fig 10

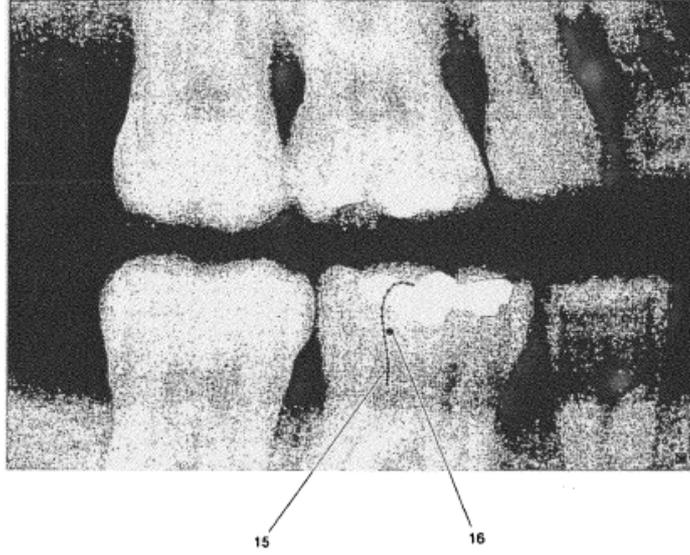


Fig 11

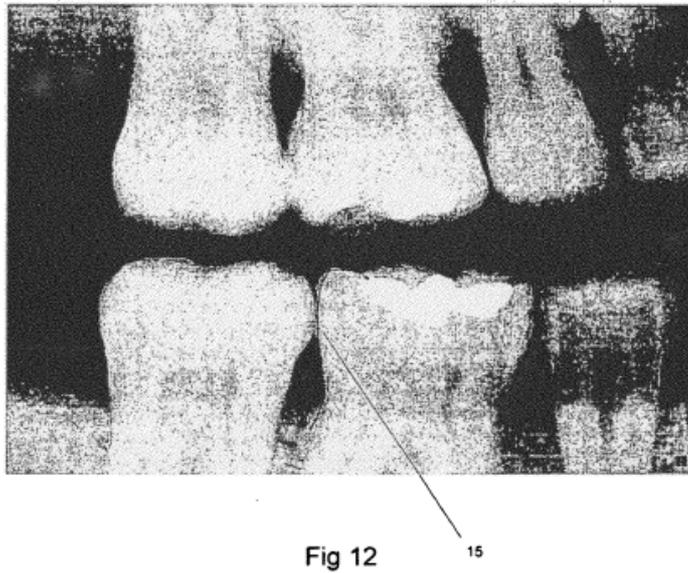


Fig 12

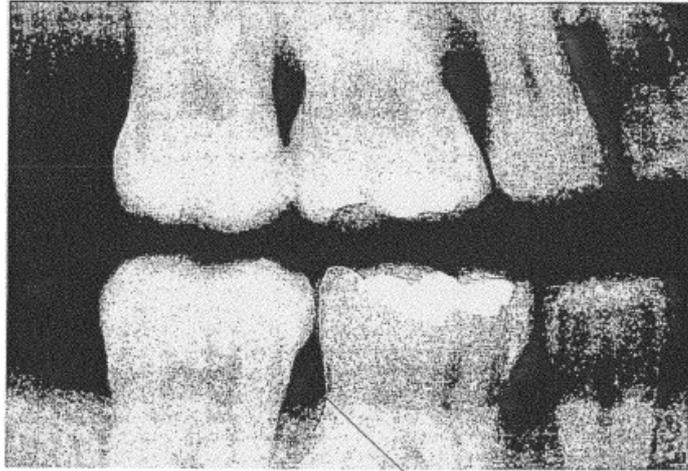


Fig 13

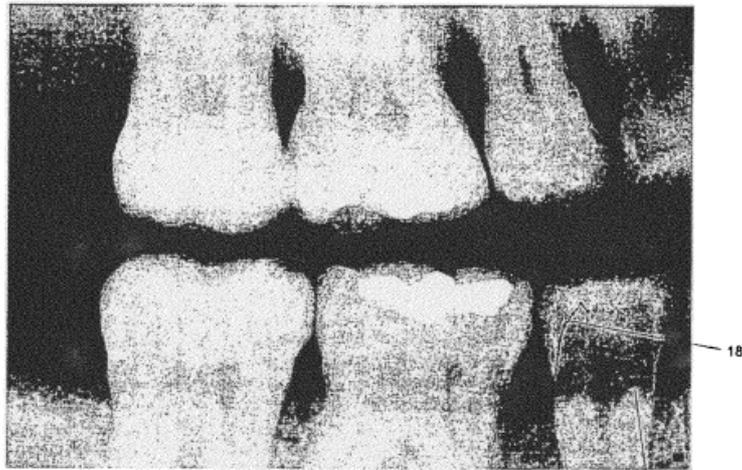


Fig 14



Fig 15

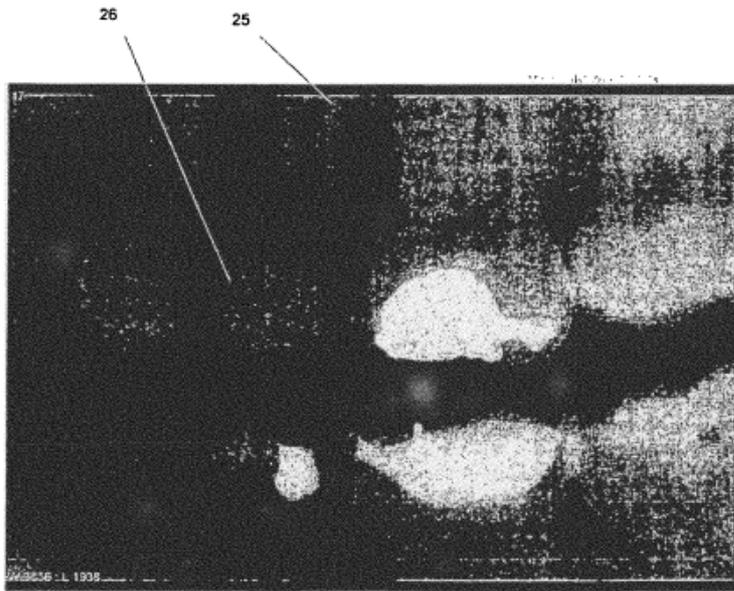


Fig 16

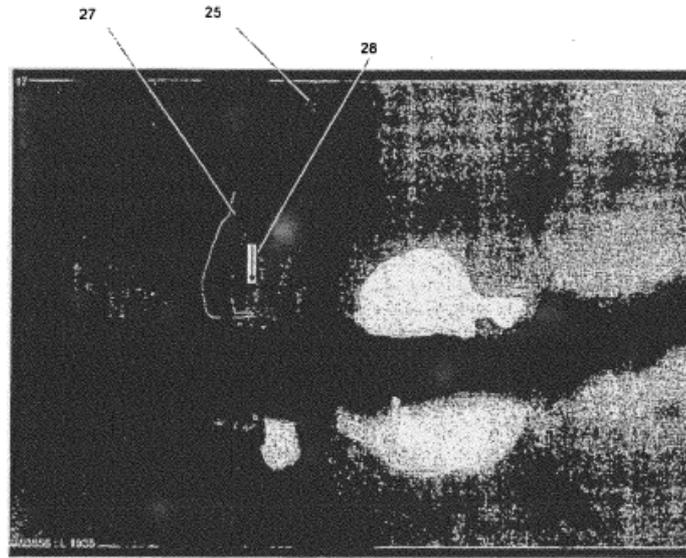


Fig 17

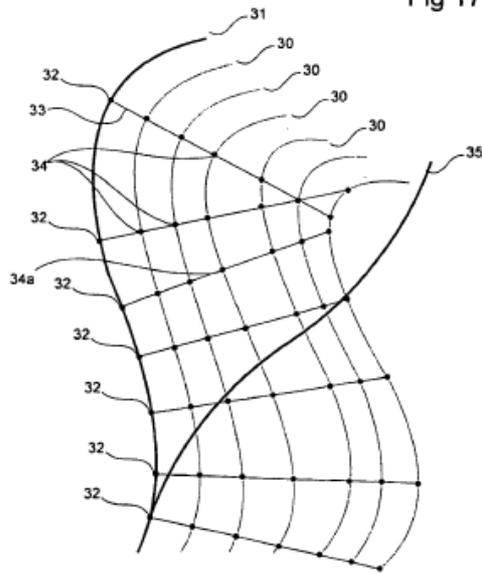


Fig 18

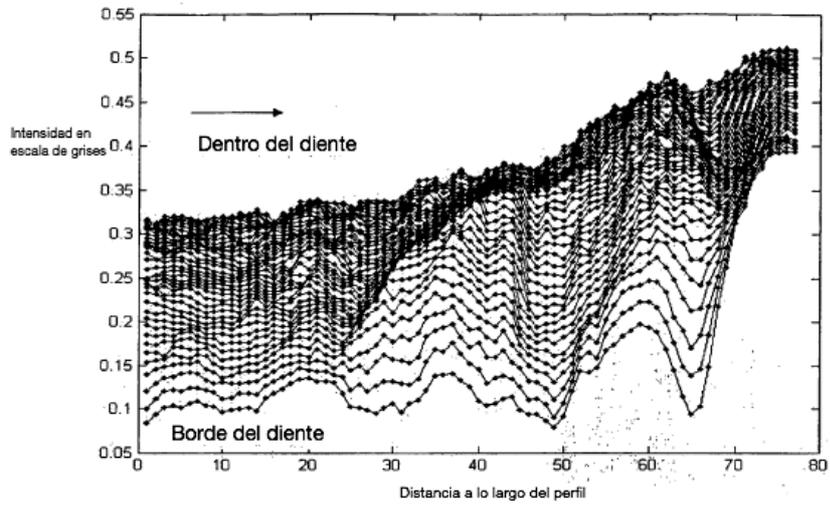


Fig 19

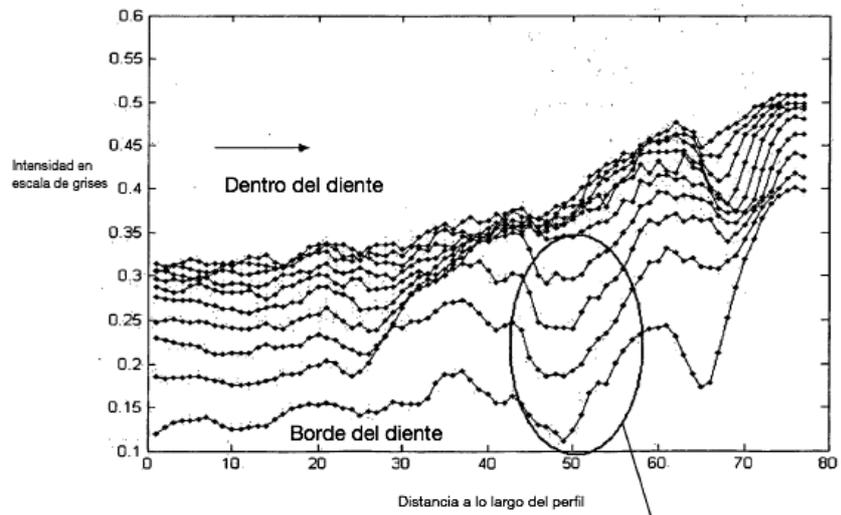


Fig 20

36

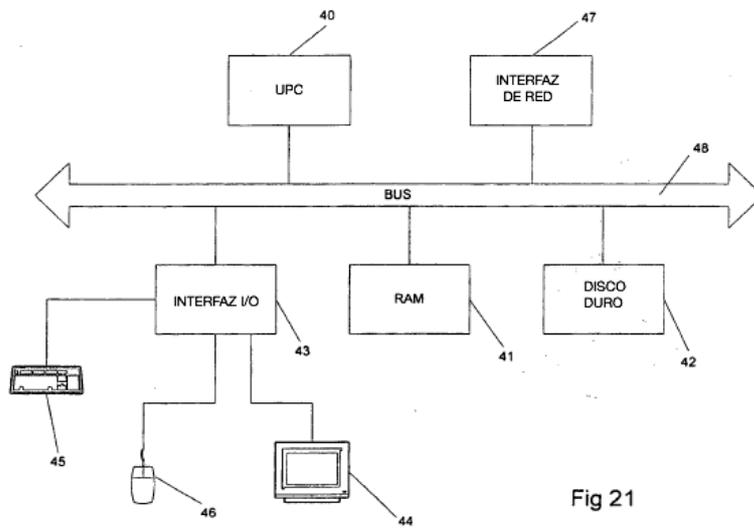


Fig 21