

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
29 de Enero de 2004 (29.01.2004)

PCT

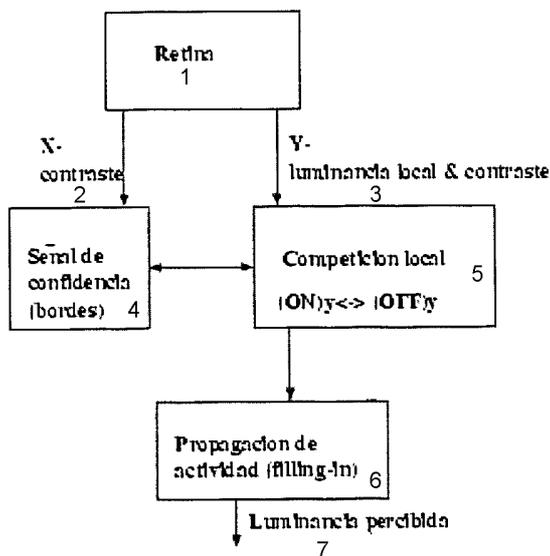
(10) Número de Publicación Internacional
WO 2004/010378 A1

- (51) Clasificación Internacional de Patentes⁷: **G06T 5/20**, G06N 3/02
- (21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2003/000366
- (22) Fecha de presentación internacional:
15 de Julio de 2003 (15.07.2003)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:
P200201703 19 de Julio de 2002 (19.07.2002) ES
- (71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US): **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS** [ES/ES]; C/Serrano, 117, 28006 MADRID (ES).
- (72) Inventores; e
- (75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **KEIL, Matthias, Sven** [ES/ES]; Instituto de Optica 'Daza de Valdés', Consejo Superior de Investigaciones Científicas, C/ Serrano 121, 28006 MADRID (ES). **CRISTOBAL PÉREZ, Gabriel** [ES/ES]; Instituto de Optica 'Daza de Valdés', Consejo Superior de Investigaciones Científicas, C/ Serrano 121, 28006 Madrid (ES).
- (74) Mandatario: **REPRESA SÁNCHEZ, Domingo**; CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS, OFICINA DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA, C/Serrano, 113, 28006 MADRID (ES).
- (81) Estados designados (nacional): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: LUMINANCE-MATCHING CIRCUIT BASED ON LOCAL INTERACTIONS

(54) Título: CIRCUITO DE ADAPTACIÓN DE LUMINANCIA BASADO EN INTERACCIONES LOCALES



- 1 RETINA
2 X CONTRAST
3 Y LOCAL LUMINANCE & CONTRAST
4 CONFIDENCE SIGNAL (EDGES)
5 LOCAL COMPETITION (ON)Y (OFF)Y
6 ACTIVITY PROPAGATION (FILLING-IN)
7 PERCEIVED LUMINANCE

(57) Abstract: The invention relates to a luminance-matching system based on a cellular automaton, which essentially operates using a set of differential equations. Said equations are coupled exclusively by means of interactions between neighbouring elements, i.e. each cell exchanges information exclusively with its four closest neighbours. Owing to the local nature of the system, it can be implemented in VLSI with a restricted dynamic range of luminosity levels and used by a wide range of circuits in which the input signal must be normalised during a subsequent processing step.

(57) Resumen: El sistema propuesto está basado en un autómata celular. Su funcionamiento consiste esencialmente en un conjunto de ecuaciones diferenciales. Las ecuaciones están acopladas exclusivamente por medio de interacciones entre los elementos vecinos, es decir, cada célula intercambia información exclusivamente con los cuatro vecinos más próximos. Debido a su naturaleza local, el sistema es susceptible de ser implementado en VLSI, y utilizado por una amplia gama de circuitos en donde sea precisa una normalización de la señal de entrada en una etapa de procesamiento posterior, que tenga un rango dinámico de niveles de luminosidad restringido.

WO 2004/010378 A1



MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (regional): patente ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), patente euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), patente europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), patente OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones*

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional*

TÍTULO**CIRCUITO DE ADAPTACIÓN DE LUMINANCIA BASADO EN INTERACCIONES LOCALES****5 SECTOR DE LA TÉCNICA**

Dentro del sector de la tecnología de la información y las comunicaciones la presente invención está referida a integración de software en sensores de pixel inteligente (redes neuronales celulares). Concretamente en esta invención se describe un método que permite al sensor un ajuste global de la luminancia incidente a través de operaciones de procesamiento locales. Concretamente el ámbito dentro del cual esta patente puede tener mayor grado de impacto es en empresas fabricantes de cámaras de video tanto analógico como digital, monitores, videoconferencia, telefonía móvil, etc.

Otras patentes <http://www.delphion.com> relacionadas con esta propuesta son:

- (1) Chua, L. y Yang, L., "Cellular neural network", Pat. US5140670
- 15 (2) Werblin, F., Roska, T. y Chua, L.O. "CNN programmable topographic sensory device", Pat. US5717834.

ESTADO DE LA TÉCNICAAproximaciones generales al problema de la normalización

20 En general, la normalización es un proceso global. El procedimiento habitual de cálculo es la búsqueda de un máximo y mínimo globales. Para ello se almacenan en una memoria temporal los valores actuales del máximo y mínimo. Dichos valores se comparan con el valor actual (local) y son sustituidos por dicho valor si éste es menor que el mínimo almacenado o mayor que el máximo almacenado. Después de pasar por todos los puntos de análisis, la memoria temporal contendrá los valores máximo y mínimo globales. Entonces, los valores originales (es decir las entradas) pueden ser escalados linealmente utilizando los valores máximo y mínimo globales con objeto de ocupar un determinado rango de valores, por ejemplo entre 0 y 1. El carácter global de la aproximación algorítmica claramente limita su utilización en aplicaciones electrónicas, y por tanto otras aproximaciones han sido sugeridas con objeto de obtener una solución aproximada al problema. Entre ellas cabe citar (datos recopilados de

25

30

http://www.eleceng.adelaide.edu.au/Groups/GAAS/Bugeye/visionchips/vision_chips/

- Adaptación basada en el valor medio.

Este método encuentra el valor medio de los valores y realimenta dicho valor con objeto
5 de controlar la ganancia. Es fácilmente implementable en VLSI utilizando el modo de
suma de corriente.

- Adaptación basada en el error medio o error cuadrático medio.

Los métodos basados en el error medio pueden proporcionar información acerca de la
desviación de las variables al nivel de la jerarquía. Esto puede ser interpretado como
10 una indicación del nivel de actividad. Por tanto, la actividad del sistema puede ser
controlada mediante éste método.

- Adaptación basada en el valor máximo.

Este método proporciona una decisión en base al valor mayor de las variables. La
realización hardware de éste método se denomina circuito ganador-toma-todo "winner-
15 take-all (WTA)".

Es preciso señalar que el circuito propuesto puede llevar a cabo una operación de tipo
ganador-toma-todo si las regiones de procesado no se encuentran interconectadas. Por
tanto, en cada una de dichas regiones, se llevará a cabo una normalización
independiente, es decir se determinarán las regiones de máximo o mínimo. Con la
20 introducción de un umbral, obtenemos la operación WTA. En general, sin embargo, la
red no elimina ningún valor a costa de otros, por lo que es diferente de las arquitecturas
WTA. En su lugar lo que hace el sistema es re-escalar los valores en cada región de un
modo independiente.

Otros métodos para el mapeado de valores arbitrarios en un determinado rango
25 dinámico incluyen la utilización de funciones de compresión o sigmoideas. Sin la
presencia de un mecanismo adaptativo, dichas funciones proporcionan un resultado peor
que en el caso de incorporar adaptabilidad. Obsérvese, que el sistema aquí propuesto
puede ser también utilizado para la adaptación de funciones no-lineales, a través de la
utilización del valor local disponible en la parametrización de los valores globales
30 máximo y mínimo. El mecanismo que aquí se propone además de su implementación
simple tanto desde el punto de vista algorítmico como a través de circuito electrónico,
proporciona el máximo y mínimo globales de un modo local, es decir, cada célula tiene

acceso al valor máximo y mínimo sin hacer ninguna referencia a valores de variables globales. El sistema propuesto puede ser implementado como una red local WTA o bien como un nuevo circuito retiniano (p.e. a través de redes neuronales celulares). Existen en la actualidad un amplio conjunto de circuitos retinianos artificiales (es decir implementaciones electrónicas de modelos de la retina de los vertebrados), pero en donde el circuito de adaptación a los cambios de luz se efectúa de un modo local, extrayendo solo la información de contraste local de la distribución de luminancia. Como ejemplo de implementación de una retina de silicio (VLSI) cabe citar:

- H. Kobayashi, T. Matsumoto, T. Yagi & K. Tanaka, en "Light-adaptive architectures for regularization vision chips", Neural Networks, Vol. 8, No. 1, pp. 87-101, 1995. Este método está basado en la teoría de la regularización.

Diferencia a partir del promedio local: retinas de silicio

En los métodos que se citan a continuación, el promedio local es substraído de la señal en cada célula. En algunas ocasiones, dos promedios locales con diferente distribución espacial son substraídos uno del otro. Este método presenta dos desventajas. En primer lugar, la señal se "centrará" en torno al cero, y por tanto la variación de la señal dependerá del promedio local. Por ejemplo, si la corriente media es de 1 nA, la variación de la señal se situará en torno a dicho valor. En segundo lugar, este método no es capaz de reproducir la respuesta a la dependencia de la intensidad. Debido a su sencillez, este método ha sido utilizado en muchas implementaciones VLSI de retinas artificiales, como por ejemplo:

- C. Mead & M.A. Mahowald, "A silicon model of early visual processing," Neural Networks, Vol. 1, pp. 91-97, 1988. Este método está inspirado en los diferentes componentes individuales de una retina.
- W. Bair & C. Koch, "An analog VLSI chip for finding edges from zero-crossings," Neural Information Processing Systems, Vol. 3, pp. 399-405, 1991.
- C-Y. Wu & C-F. Chiu, "A new structure of the 2-D silicon retina," IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 30, No. 8, pp. 890-897, August 1995.

División por el promedio local

En los métodos que se indican a continuación, el valor en cada célula se divide por el promedio local. La ventaja fundamental de la división frente a la resta de los métodos anteriores, es que la salida ahora se encuentra centrada en torno a "uno". Por tanto, la

salida puede ser normalizada ahora al valor deseado. En los métodos que usan la resta, si un valor offset (por ejemplo 100 nA) se añade en torno al cero, los valores pequeños se perderán. Otra ventaja de éste método es la denominada característica de supresión de ruido multiplicativa (MNC). Al dividir la señal por el promedio local, el ruido de continua (AC noise), que puede provenir de la reflexión de la superficie de los objetos (de ahí su carácter multiplicativo), puede ser reducido a una fracción pequeña. De hecho, éstos métodos han sido propuestos con dicho propósito. Han sido usados como pre-procesadores en chips para la detección de movimiento, con objeto de reducir el efecto de fuentes de luz continuas (AC). Entre los métodos que utilizan división por el promedio local, cabe citar:

- A. Moini, A. Bouzerdoun, K. Eshraghian, A. Yakovleff, X.T. Nguyen, A. Blanksby, R. Beare, D. Abbott & R.E. Bogner, "An insect vision-based motion detection chip," IEEE J. Solid State Circuits, Vol. 32, No. 2, pp. 279-284, February 1997.
- A. Moini, A. Bouzerdoun, K. Eshraghian, A. Yakovleff & X.T. Nguyen, "The architecture of an insect vision based VLSI motion detection chip," Australian Microelectronics Conference, pp. 68-73, 1995.
- A. Moini, A. Bouzerdoun, K. Eshraghian, A. Yakovleff, X.T. Nguyen, A. Blanksby, R. Beare, D. Abbott & R.E. Bogner, "An insect vision-based motion detection chip," IEEE J. Solid State Circuits, Vol. 32, No. 2, pp. 279-284, February 1997.
- A. Moini, A. Bouzerdoun, K. Eshraghian, A. Yakovleff & X.T. Nguyen, "The architecture of an insect vision based VLSI motion detection chip," Australian Microelectronics Conference, pp. 68-73, 1995.

Inhibición lateral lineal

Inhibición lateral lineal es un caso simple de inhibición lateral, donde la señal en una célula es substraída a partir de fracciones de las células vecinas. Este modelo puede explicar las características de mejora de bordes y del rango dinámico. Sin embargo, no puede reproducir el fenómeno de dependencia con la intensidad. Este método se ha usado en la implementación de algunos chips basados en la inhibición lateral. Entre ellos cabe citar:

- S. Wolpert & E. Micheli-Tzanakou, "Silicon models of lateral inhibition," IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 4, No. 6, pp. 955-961, Nov. 1993.

Inhibición lateral multiplicativa "Shunting inhibition"

En la inhibición lateral, un porcentaje de las señales de salida de cada célula y de sus vecinas es sustraída de la señal en cada canal. Este modelo ha sido desarrollado de hecho para modelar el comportamiento de una retina biológica. Permite demostrar todas las propiedades de una retina biológica. Algunos chips de visión han sido diseñados basados en la inhibición lateral.

- R.B. Darling & W.T. Dietze, "Implementation of multiplicative lateral inhibition in a gas sensory neural-network photodetector array," IEEE J. Quantum Electronics, Vol. 29, No. 2, pp. 645-654, February 1993.
- A. Moini, A. Bouzerdoum & K. Eshraghian, "A current mode implementation of shunting inhibition," ISCAS, June 9-12, Hong Kong, pp. 557-560, 1997.

El método aquí propuesto es completamente diferente de otros modelos existentes. También es diferente de otros algoritmos que realizan el rellenado de superficies con algún color. En este caso, al valor central de cada pixel se le asigna el valor máximo de los vecinos. Una estrategia similar puede seguirse para la búsqueda del mínimo global, pero sin embargo las implementaciones VLSI de los programas de rellenado de superficies requieren mayor coste computacional que el método aquí propuesto.

20

Descripción de la invención

Breve descripción de la invención

El método aquí propuesto proporciona una solución definitiva al problema de la búsqueda del máximo y mínimo globales de un conjunto de números a partir de la información local y de interacciones no-algoritmicas. El término "no-algorítmico" se refiere a que no utilizamos comparaciones explícitas entre valores (p.e. del tipo if ... then). El término local se refiere a que no se utiliza una memoria global o "buffer", sino tan solo interacciones locales entre células vecinas. En su forma más simple, el método consiste en tres ecuaciones diferenciales. Cada ecuación puede ser interpretada como una capa de procesado independiente de un array ordenado de células. La topología es la misma para las tres capas. La primera capa realiza una difusión no lineal

30

convergiendo al máximo global. Esto significa que el máximo global está localmente disponible, a pesar de llevarse a cabo tan sólo interacciones locales entre las células de cada capa. Análogamente la segunda capa convergerá al mínimo local. La tercera capa conecta tanto el máximo como el mínimo con objeto de obtener una representación normalizada de la entrada. Por supuesto, los valores pueden ser utilizados para la adaptación (normalización) de señales arbitrarias, como se mencionó en el apartado

Descripción detallada de la invención

Definiciones

Sea x_{ij} los datos de entrada que deseamos procesar, con

10 $i \in \{1, N\}$ y $j \in \{1, M\}$

Sea $y_{ij}(t)$ la salida de la red para un determinado tiempo t . La red produce un remapeado del rango de valores de entrada $x_{ij} \in [A, B]$ en los valores de salida $y_{ij} \in [0, 1]$.

A y B son constantes con $A > B$.

15 Operadores para la difusión no-lineal

Considérese el operador Laplaciano $\nabla^2(\cdot) \equiv \nabla \cdot (\nabla(\cdot)) \equiv \text{div}(\text{grad}(\cdot))$. De

este modo, una versión simple de la ecuación de reacción-difusión es:

$$\frac{dz(\vec{x}, t)}{dt} = P \nabla^2 z(\vec{x}, t) \tag{1}$$

20 donde P es el coeficiente de difusión que determina la velocidad de propagación de la actividad y $\vec{x} \equiv (x, y)$.

En una retícula discreta, la dinámica anterior puede describirse mediante una aproximación de la Laplaciana por medio de diferencias finitas centradas, es decir

25
$$\frac{dz_{ij}(t)}{dt} = \frac{P}{4} \sum_{\{k,l\} \in N_{ij}} (z_{kl}(t) - z_{ij}(t)) \tag{2}$$

El factor 1/4 garantiza la estabilidad numérica.

N_{kl} es un conjunto de índices que especifican una vecindad de tipo von-Neumann, es decir $N \equiv \{(i-1, j), (i+1, j), (i, j-1), (i, j+1)\}$. Obsérvese que la ecuación de difusión es lineal.

30 Vamos a introducir los operadores *rectificación de media onda* o $HWR[\cdot]^+$, y el operador *rectificación de inverso de media onda* o $iHWR[\cdot]^+$ que

se definen como $| \cdot |^+ \equiv \max(\cdot, 0)$ y $| \cdot |^- \equiv \min(\cdot, 0)$.

Dicho de otro modo, $[\cdot]^+$ devuelve el valor positivo de su argumento y $[\cdot]^-$ el valor negativo de su argumento. Se verifica que $|x|^+ \equiv |-x|^-$.

Nota: Ambas ecuaciones pueden ser entendidas en el contexto de lo que se denomina rectificación de las sinapsis eléctricas. Los operadores de rectificación lo que llevan a cabo es que los pulsos neuronales se produzcan a partir del umbral cero}.

Podemos entonces aplicar esos operadores a la última ecuación, con lo que tendremos:

$$\frac{da_{ij}(t)}{dt} = \frac{P}{4} \underbrace{\sum_{\{k,l\} \in N_{kl}} (|u_{kl}(t) - a_{ij}(t)|^+)}_{\Delta^+ a_{ij}(t), \text{ "Kecision"}}$$
(3)

10 y

$$\frac{db_{ij}(t)}{dt} = \frac{P}{4} \underbrace{\sum_{\{k,l\} \in N_{kl}} (|b_{kl}(t) - b_{ij}(t)|^-)}_{\Delta^- b_{ij}(t), \text{ "Kecision"-inverso}}$$
(4)

Aunque esto parece que es una simple modificación, sin embargo representa el núcleo básico de la presente patente. Así hemos dividido la ecuación lineal de difusión $\{linDiff\}$ en dos ecuaciones no-lineales de difusión (3) y (4).

15 Si inicializamos $a_{ij}(t=0) = x_{ij}$ y $b_{ij}(t=0) = x_{ij}$, la dinámica de la ecuación (3) viene dada por:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a_{ij}(t) = \max_{i,j} (a_{ij}) \equiv A, \quad \forall i \forall j$$
(5)

y la dinámica de $\{disB\}$ es

$$\lim_{t \rightarrow \infty} b_{ij}(t) = \min_{i,j} (b_{ij}) \equiv B, \quad \forall i \forall j$$
(6)

20

Obsérvese que cada célula a_{ij} obtiene el máximo global A al final del proceso, y la célula b_{ij} el mínimo global B. La razón de ese comportamiento es debido al hecho de que el operador HWR sólo permite a una célula incrementar su actividad si uno de sus vecinos más próximos tiene una actividad mayor. En caso de no existir más gradiente entre las células, no existirá en ese caso mayor incremento de actividad en las mismas. Esto corresponde con el estado de convergencia de la red. La actividad de propagación

25

es por tanto no conservativa, puesto que las todas las células a_{ij} incrementarán su actividad hasta el valor global del máximo. La dinámica de las células b_{ij} tiene lugar de una manera similar. Cada b_{ij} solo le está permitido decrementar su actividad si uno de sus vecinos más próximos presenta una actividad más baja. Esta difusión cesa si no existen más gradientes, e decir cuando todas las células han alcanzado el mínimo global. Para la integración de las ecuaciones diferenciales 3,4 es suficiente con emplear el método de Euler, en el supuesto que $P \leq 1$

Normalización

Teniendo acceso de esta manera al máximo y mínimo globales, la normalización se puede llevar a cabo a través de un escalado lineal,

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - a_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}} \quad (7)$$

La última ecuación debe ser evaluada después de la convergencia de las ecuaciones (3,4). Alternativamente, la solución puede venir dada mediante:

$$\frac{dy}{dt} = (b - a)y - a + \exp(-t/\tau) \cdot x \quad (8)$$

que en el equilibrio (es decir, cuando se verifica $\frac{dy}{dt} = 0$ y $\tau \gg 1$), da lugar a la Ec. 7. La exponencial se ha introducido por estabilidad numérica, y tau debe ser elegido con un valor alto, p.e. $\tau = 10^5$. En general, el método es numéricamente estable. La última ecuación permite además simular la dinámica de la red (véase más adelante).

Normalización local

La red por tanto lleva a cabo una normalización local que puede entenderse como un mecanismo del tipo ganador-toma-todo mencionado antes en una región definida mediante pesos distintos de cero. Considérese una matriz de pesos W que contiene todo ceros.

Podemos definir entonces de modo arbitrario dentro de dicha matriz algunas regiones que tomen valores distintos de cero. Para ello considérese la analogía de considerar la matriz W como una region de agua (pesos cero) y las regiones W_i como islas (pesos distintos de cero). Considérese por tanto a la matriz W que contenga m de tales islas (o regiones aisladas) $W = W_1 \oplus W_2 \dots \oplus W_m$. Las regiones se encuentran aisladas por pesos iguales a cero. El operador \oplus denota composición. Cada isla W_i por tanto puede definirse mediante un conjunto de coordenadas matriciales (índices fila/columna) junto

con sus correspondientes valores distintos de cero (pesos). No es posible que dos islas se superpongan espacialmente (en nuestra analogía eso significa que dos islas conectadas puedan fusionarse y crear una sola isla). Para lograr que el modelo pueda funcionar, es importante señalar que una normalización como la descrita anteriormente producirá siempre un valor igual a cero como mínimo global, debido a que en el modelo original las islas no se consideran como aisladas. Podemos modificar las ecuaciones (3) y (4) de tal manera que la matriz W represente una matriz de ponderación para la constante de difusión P , produciendo de esta manera un coeficiente de difusión espacialmente variante. La actividad solo puede ser transferida en el interior de las islas pero no entre ellas.

$$\frac{da_{ij}(t)}{dt} = \frac{P}{4} \sum_{\{k,l\} \in N_{kl}} (W_{ij} \cdot W_{kl} \cdot [a_{kl}(t) - a_{ij}(t)]^+) \quad (9)$$

y

$$\frac{db_{ij}(t)}{dt} = \frac{P}{4} \sum_{\{k,l\} \in N_{kl}} (W_{ij} \cdot W_{kl} \cdot [b_{kl}(t) - b_{ij}(t)]^-) \quad (10)$$

Mediante este método se pueden normalizar diferentes regiones de una imagen de entrada x_{ij} de manera independiente. Esto puede ser muy útil para eliminar grandes variaciones en el rango de luminancia con objeto de obtener una imagen independiende del grado y forma de iluminación. De esta manera, tenemos un mecanismo para implementar constancia al color o al brillo, si elegimos los pesos W_i de tal manera que representen un marco completo de la imagen.

20 **Circuito retiniano**

La dinámica simple (es decir para valores pequeños de los pasos de integración) de las ecuaciones de la red (3,4 y 8) revela respuestas que son similares a las producidas en las células ganglionares retinianas que presentan un centro excitatorio y un entorno inhibitorio. Tales células se denominan células ON, y se caracterizan por responder a la parte más brillante de una rampa de luminancia. Existen otro tipo de células que responden a la parte más oscura de la rampa, denominadas células OFF. Una célula biológica OFF presenta un entorno excitatorio y un centro inhibitorio. Las respuestas que son similares a las células OFF retinianas pueden ser calculadas modificando la ecuación (7) como

$$y_{ij}^- = 1 - \frac{x_{ij} - a_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}} = \frac{b_{ij} - x_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}} \tag{11}$$

Con ésta ecuación junto con la ecuación (7) se propone aquí un nuevo circuito retiniano.

En primer lugar, modificaremos las ecuaciones

$$\frac{da_{ij}(t)}{dt} = -g_{leak}(a_{ij}(t) - V_{rest}) + P(t) \cdot \Delta^+ a_{ij}(t) \tag{12}$$

5 y

$$\frac{db_{ij}(t)}{dt} = -g_{leak}(b_{ij}(t) - V_{rest}) + P(t) \cdot \Delta^- b_{ij}(t) \tag{13}$$

La conductancia de pérdida (leakage) $g_{leak} \geq 0$ y el potencial de reposo V_{rest} deben de elegirse con un valor pequeño pero sin pérdida de generalidad.

Puesto que los contrastes de las imágenes "emergen" en la dinámica primaria, podemos "congelar" la dinámica haciendo decrecer la constante de difusión con la constante de tiempo τ_P .

$$P(t) = \exp(-t/\tau_P) \tag{14}$$

Por supuesto, cuando se procesen imágenes variantes temporalmente $x_{ij}(t)$ otros mecanismos más elaborados pueden ser incorporados en lugar de una simple exponencial (por ejemplo circuitos activos reset). Las células ON pueden ser modeladas como:

$$\frac{dy_{ij}^+}{dt} = -g_{leak}(y_{ij}^+ - V_{rest}) + (b_{ij} - a_{ij}) \cdot y_{ij}^+ - a_{ij} + x_{ij} \tag{15}$$

y las células OFF como,

$$\frac{dy_{ij}^-}{dt} = -g_{leak}(y_{ij}^- - V_{rest}) + (b_{ij} - a_{ij}) \cdot y_{ij}^- + b_{ij} - x_{ij} \tag{16}$$

20 Donde de nuevo g_{leak} y V_{rest} pueden tomarse como cero, o con valores muy pequeños. La variable temporal t se ha omitido por simplicidad de cada variable. En el contexto de las células retinianas, la entrada x_{ij} procede de los fotorreceptores. Aunque nuestro modelo extrae contrastes en imágenes, no se presentan efectos espúreos puesto que el modelo puede considerarse como un operador de tipo Laplaciano o del tipo centro-entorno.

25 El entorno inhibitorio de los últimos operadores decrece las respuestas del contraste, cuando aparecen muchos contrastes concentrados en una región pequeña. Nuestro

modelo no presenta tales discontinuidades en los contrastes extraídos. Sin embargo, las respuestas que son cualitativamente iguales a aquellas que resultan del operador Laplaciano pueden ser fácilmente obtenidos mediante el cálculo de $|y_{i,j}^+ - y_{i,j}^-|$ (respuestas de las células OFF del tipo Laplaciano).

5

DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Figura 1 (a) Imagen original; (b) Respuesta del canal ON de un modelo basado en la utilización de filtros basados en diferencia de Gaussianas; (c) Detalle ampliado de la respuesta anterior visualizado con el contraste invertido. Como puede observarse este modelo no es capaz de reproducir correctamente el contraste en las intersecciones de las líneas

Figura 2 El modelo de circuito retiniano propuesto en ésta patente es capaz de proporcionar una respuesta más eficiente facilitando un mejor contraste en comparación con los métodos clásicos basados en la diferencia de Gaussianas. (a) Imagen original; (b) Respuesta del canal ON del circuito retiniano; (c) Detalle ampliado de la respuesta anterior visualizado con el contraste invertido. El modelo propuesto no presenta el problema anteriormente descrito.

Figura 3 Imagen original; (b-d) Respuesta dinámica de la red para diversos valores (múltiplos del tiempo de integración, indicados en las leyendas de las figuras).

Figura 4 (a-d) Respuesta dinámica de la red para diversos valores (múltiplos del tiempo de integración, indicados en las leyendas de las figuras). Obsérvese que los valores altos de luminancia aceleran el proceso de normalización de la red, y que conforme la red evoluciona la respuesta que se obtiene es casi idéntica a la imagen original.

Figura 5 (a-c) Respuesta dinámica de la red para diversos valores (múltiplos del tiempo de integración, indicados en las leyendas de las figuras). Obsérvese que los valores altos de luminancia aceleran el proceso de normalización de la red, y que conforme la red evoluciona la respuesta que se obtiene es casi idéntica a la imagen original.

Figura 6 (a-c) Respuesta de la red para imágenes con diferente rango de contrastes (valores bajos). En las leyendas de las figuras se presentan los valores de normalización que están relacionados con el tiempo de integración de la red, es decir que los valores altos del contraste aceleran el proceso de normalización de la red.

30

Figura 7 (a-c) Respuesta de la red para imágenes con diferente rango de contrastes (valores altos). En las leyendas de las figuras se presentan los valores de normalización que están relacionados con el tiempo de integración de la red, es decir que los valores altos del contraste aceleran el proceso de normalización de la red.

5 Figura 8 Ejemplo de normalización del circuito mediante interacciones locales. La figura representa el estado del sistema en diferentes instantes de tiempo (representados mediante los números situados en la cabecera de las columnas. La dinámica de la red es reminiscente de un fenómeno de propagación de actividad o rellenado "filling-in". Es decir a partir de los bordes representados mediante las imágenes de la columna "1" 10 de la figura 8, la información de luminancia se va propagando ("rellenando") en el transcurso del tiempo (fila superior de la Fig.8), así como la información de oscuridad (fila inferior de la Fig. 8). Obsérvese, como el sistema es capaz de proporcionar la imagen positiva y negativa a la vez (columna "500" de la Fig. 8).

Figura 9 (a) Imagen test consistente en un damero de ajedrez. (b) Respuesta de la red 15 en función del contraste de la imagen original. Cuando el contraste es bajo el tiempo para alcanzar el estado estacionario es mayor.

Las figuras 10-11 se describen en el apartado denominado Ejemplo de la realización de la invención.

20 **EJEMPLO DE LA REALIZACIÓN DE LA INVENCION**

Figura 10 La figura representa un esquema de la retina artificial propuesta. Este modelo permite la transmisión simultánea de la información de contraste y de luminancia. Facilita un mecanismo de adaptación global de la luminancia con un amplio rango dinámico, proporcionando un código muy compacto de la información visual.

25 Figura 11 Esta figura representa un esquema de una red neural celular en donde los elementos de procesado están interconectados según un esquema de vecindad de tipo von-Neumann (4 vecinos más próximos).

REIVINDICACIONES

1. Método automático de ajuste de la luminancia en sensores de imagen VLSI (chips CCD, 'charged coupled devices') caracterizado por\

- 5
- Arquitectura de pixel inteligente (red neuronal celular)
 - La dinámica neuronal de los elementos receptores está basada en operadores de difusión no-lineal a partir de una ecuación de reacción-difusión

2. Método de normalización global de la luminancia a partir del procesado local de los
10 receptores, caracterizado por

- La normalización se produce simplemente a través de un factor de proporcionalidad lineal
- El sistema proporciona el máximo y el mínimo global a través de interacciones locales mediante un procedimiento no algorítmico. El término no-algorítmico
15 significa que no se efectúan comparaciones entre valores del tipo (if ... then).
- El sistema está caracterizado por tres ecuaciones diferenciales. Cada una de ellas puede ser considerada como una capa independiente dentro de un conjunto de matrices celulares.
- La primera capa realiza una difusión no-lineal y converge a través de sus células
20 al máximo global. Eso implica que el máximo global está disponible localmente a pesar de haber sido obtenido mediante interacciones locales.
- La segunda capa converge localmente al mínimo global.
- La tercera capa conecta las dos capas anteriores para proporcionar una representación normalizada de la entrada.
- Permite el procesado de un amplio rango de valores de luminancia, de hasta
25 cinco órdenes de magnitud para la implementación del sistema como autómata celular. Para valores bajos del contraste el sistema requiere un mayor tiempo de procesado para producir el resultado final. Sin embargo, ello no supone una restricción por efectuarse el procesado internamente en el propio chip.

30

3. Un sistema de codificación de la imagen que proporciona un código muy compacto, basado en medidas de contraste local y caracterizado por

- Una señal de contraste alto, resultado de la primera fase de la dinámica de la red
- Conforme la dinámica de la red evoluciona en el tiempo, la propagación de la actividad por medio de los mecanismos de difusión no lineal descritos anteriormente proporcionan la reconstrucción de superficies suaves e incluso gradientes de luminancia.

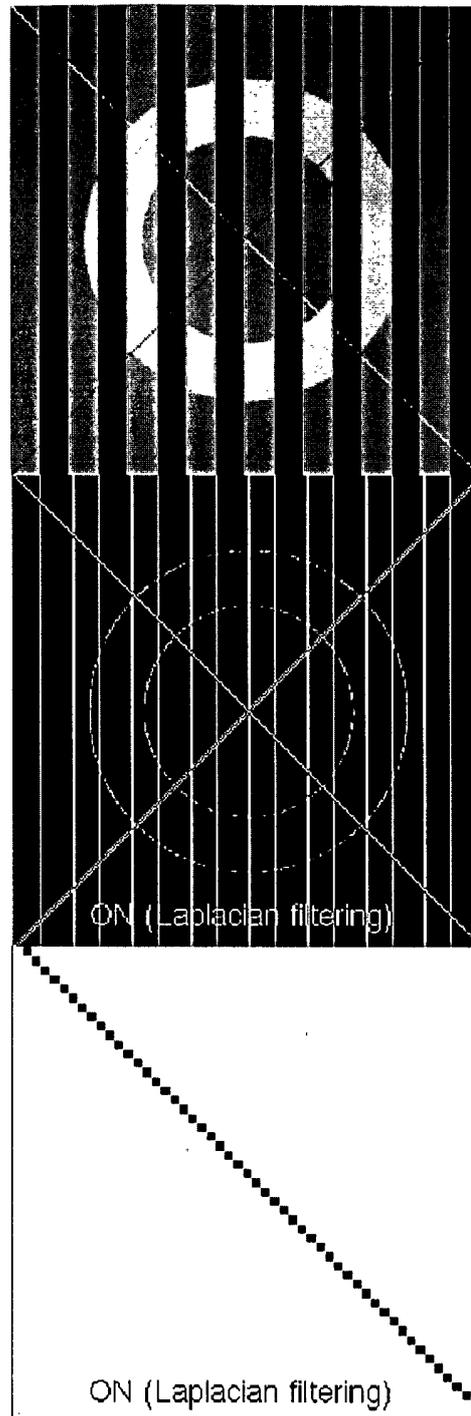


Figura 1

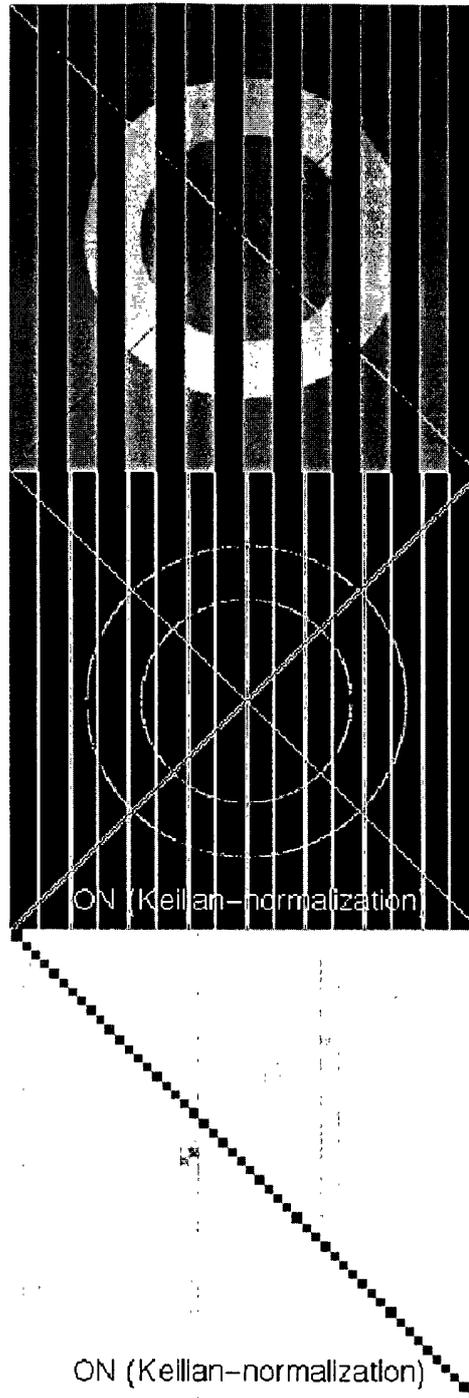


Figura 2



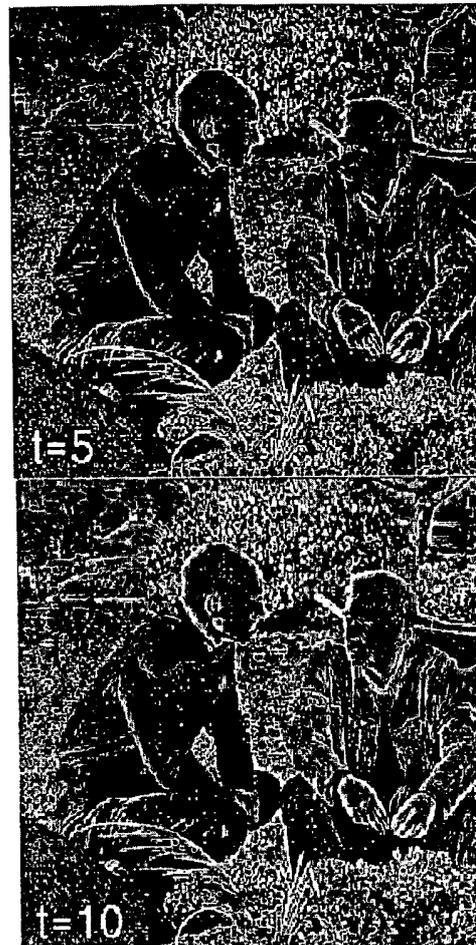


Figura 3

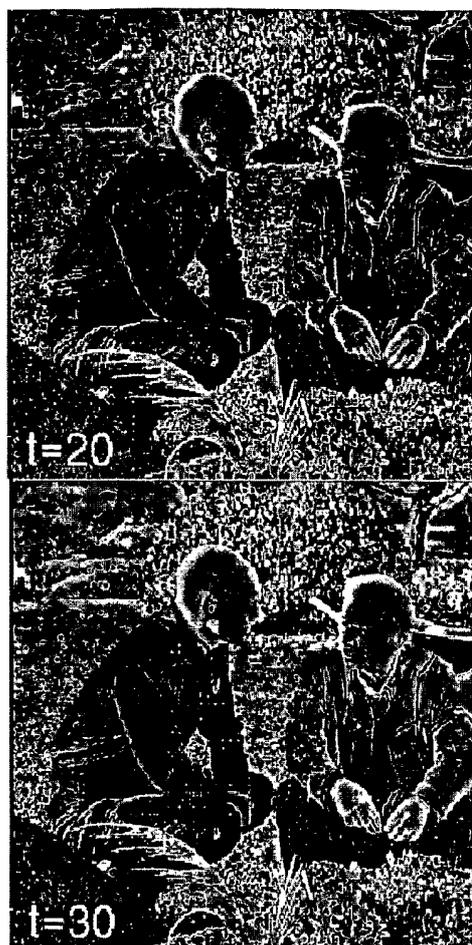




Figura 4



FIGURA 5



Figura 6



Figura 7

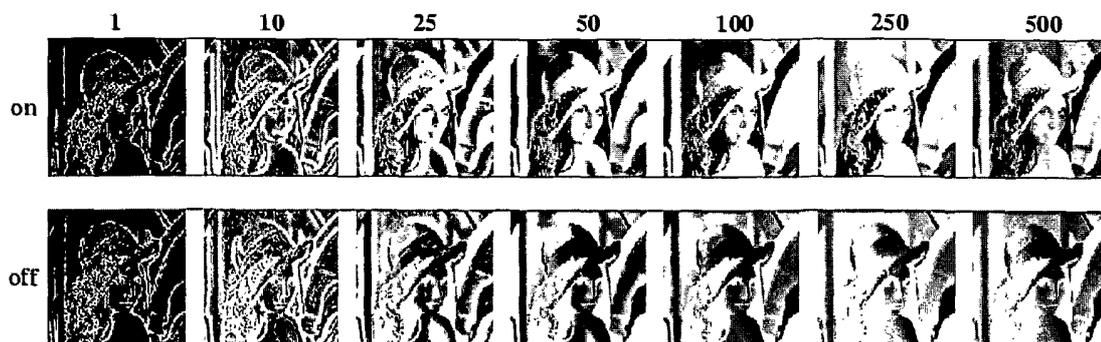
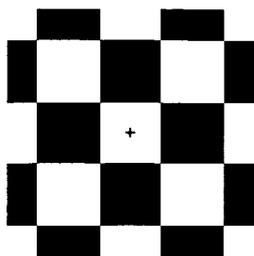


FIGURA 8



CHESSE-BOARD, 0.063492 cycles/pixel, 63 x 63 pixels

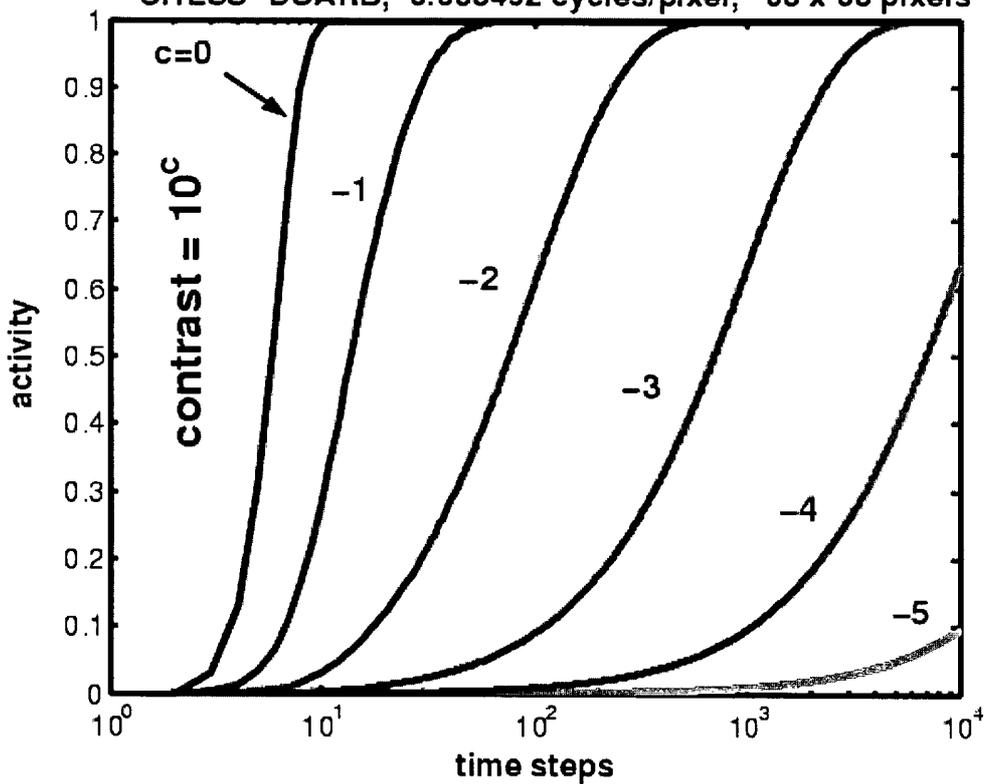


Figura 9

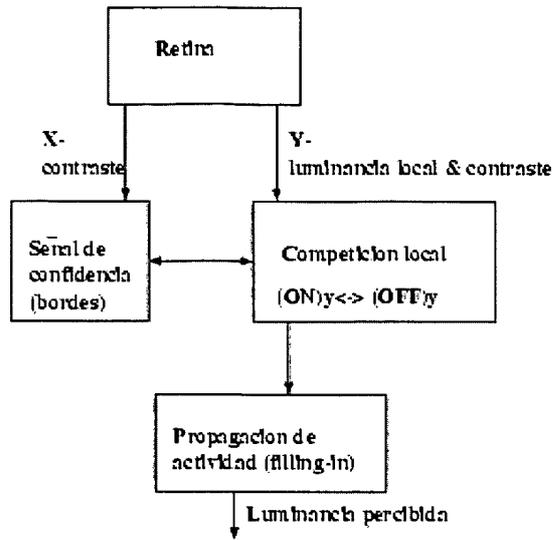
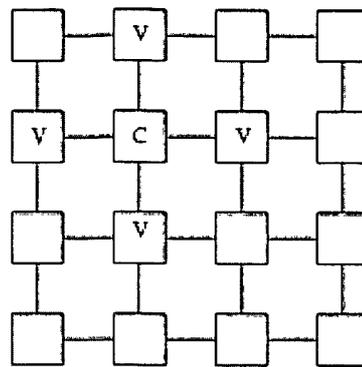


Figura 10



C=celula de procesado

V=celula de procesado con
vecindad de tipo von-Neumann

Figura 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES 03/00366

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl.7 G 06 T 5/20, G 06 N 3/02 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl.7 G 06 T, G 06 N Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPODOC, WPI, PAJ, CIBEPAT		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5140670 A (CHUA, L. O. et al.) 18.08.1992, the whole document	1-3
A	US 5717834 A (WERBLIN, F. S.) 10.02.1998, the whole document	1-3
A	WO 01 26054 A2 (MICROSOFT CORPORATION) 12.04.2001, page 2, line 17 - page 3, line 33, claims	1-3
A	US 5936684 A (MURAYAMA, Y.) 10.08.1999, column 2, line 16 - column 6, line 33	1-3
A	JP 10293841 A (AGENCY OF SCIENCE & TECHNOL.) 04.11.1998, the whole document	1-3
A	EP 0702482 A2 (XEROX CORPORATION) 20.03.1996, the whole document	1-3
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 7 November 2003 (07.11.03)		Date of mailing of the international search report 27 November 2003 (27.11.03)
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office Facsimile No.		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES 03/00366

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0866608 A2 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 23.09.1998, the whole document	1-3
A	WO 00 63838 A1 (IZAHY CORPORATION) 26.10.2000, page 5, line 24 - page 8, line 6, claims	1-3
A	US 5530559 A (SATO, T.) 25.06.1996, the whole document	1-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/ES 03/00366

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5140670 A	18.08.1992	None	
-----	-----	-----	-----
US 5717834 A	10.02.1998	WO 9506288 A AU 7717194 A EP 0715737 A JP 9505161T T EP 1104912 A EP 1104911 A EP 1104913 A AT 208514T T DE 69429006D D ES 2167378T T DE 69429006T T	02.03.1995 21.03.1995 12.06.1996 20.05.1997 06.06.2001 06.06.2001 06.06.2001 15.11.2001 13.12.2001 16.05.2002 18.07.2002
-----	-----	-----	-----
WO 0126054 A2	12.04.2001	AU 7848800 A	10.05.2001
-----	-----	-----	-----
US 5936684 A	10.08.1999	JP 10191044 A US 6137541 A	21.07.1998 24.10.2000
-----	-----	-----	-----
JP 10293841 A	04.11.1998	NINGUNO	
-----	-----	-----	-----
EP 0702482 A2	20.03.1996	JP 8107500 A US 5535019 A DE 69521381D D DE 69521381T T	23.04.1996 09.07.1996 26.07.2001 31.10.2001
-----	-----	-----	-----
EP 0866608 A2	23.09.1998	JP 10261078 A CN 1197348 A US 6111980 A DE 69801349D D DE 69801349T T	29.09.1998 28.10.1998 29.08.2000 20.09.2001 29.05.2002
-----	-----	-----	-----
WO 0063838 A1	26.10.2000	AU 4082400 A	02.11.2000
-----	-----	-----	-----
US 5530559 A	25.06.1996	JP 2285849 A JP 3013176 A US 5182657 A US 5444553 A	26.11.1990 22.01.1991 26.01.1993 22.08.1995
-----	-----	-----	-----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES 03/00366

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

CIP⁷ G 06 T 5/20, G 06 N 3/02

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y la CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima consultada (sistema de clasificación, seguido de los símbolos de clasificación)

CIP⁷ G 06 T, G 06 N

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, WPI, PAJ, CIBEPAT

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	US 5140670 A (CHUA, L. O. et al.) 18.08.1992, todo el documento.	1-3
A	US 5717834 A (WERBLIN, F. S.) 10.02.1998, todo el documento.	1-3
A	WO 01 26054 A2 (MICROSOFT CORPORATION) 12.04.2001, página 2, línea 17 - página 3, línea 33; reivindicaciones.	1-3
A	US 5936684 A (MURAYAMA, Y.) 10.08.1999, columna 2, línea 16 - columna 6, línea 33.	1-3
A	JP 10293841 A (AGENCY OF SCIENCE & TECHNOL.) 04.11.1998, todo el documento.	1-3
A	EP 0702482 A2 (XEROX CORPORATION) 20.03.1996, todo el documento.	1-3

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos Los documentos de familia de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. 07.11.2003

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

27 NOV 2003 27. 11. 03

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional

OEPM
C/Panamá 1, 28071 Madrid, España.
nº de fax +34 91 349 53 79

Funcionario autorizado:

Óscar González Peñalba

Nº de teléfono: + 34 913 495 393

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONALSolicitud internacio²
PCT/ES 03/00366

C (Continuación).		DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	EP 0866608 A2 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 23.09.1998, todo el documento.	1-3
A	WO 00 63838 A1 (IZAHI CORPORATION) 26.10.2000, página 5, línea 24 - página 8, línea 6; reivindicaciones.	1-3
A	US 5530559 A (SATO, T.) 25.06.1996, todo el documento.	1-3

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL
 Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº
 PCT/ES 03/00366

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de publicación
US 5140670 A	18.08.1992	NINGUNO	
US 5717834 A	10.02.1998	WO 9506288 A AU 7717194 A EP 0715737 A JP 9505161T T EP 1104912 A EP 1104911 A EP 1104913 A AT 208514T T DE 69429006D D ES 2167378T T DE 69429006T T	02.03.1995 21.03.1995 12.06.1996 20.05.1997 06.06.2001 06.06.2001 06.06.2001 15.11.2001 13.12.2001 16.05.2002 18.07.2002
WO 0126054 A2	12.04.2001	AU 7848800 A	10.05.2001
US 5936684 A	10.08.1999	JP 10191044 A US 6137541 A	21.07.1998 24.10.2000
JP 10293841 A	04.11.1998	NINGUNO	
EP 0702482 A2	20.03.1996	JP 8107500 A US 5535019 A DE 69521381D D DE 69521381T T	23.04.1996 09.07.1996 26.07.2001 31.10.2001
EP 0866608 A2	23.09.1998	JP 10261078 A CN 1197348 A US 6111980 A DE 69801349D D DE 69801349T T	29.09.1998 28.10.1998 29.08.2000 20.09.2001 29.05.2002
WO 0063838 A1	26.10.2000	AU 4082400 A	02.11.2000
US 5530559 A	25.06.1996	JP 2285849 A JP 3013176 A US 5182657 A US 5444553 A	26.11.1990 22.01.1991 26.01.1993 22.08.1995